De dag . . . stiefkind van de tijdrekening

Paul Schoenmakers

De dag …

stiefkind van

de tijdrekening

Paul Schoenmakers

november 2020

Inhoud

Samenvatting

Bij het bestuderen van systemen voor het tellen van tijd die gebaseerd zijn op het natuurlijke zonnejaar, zoals in het oude Egypte en Mexico, en het vergelijken hiervan met onze huidige westerse tijdrekening, blijkt dat hierover in de literatuur met grote regelmaat allerlei twijfelachtige, soms zelfs onjuiste, aannames en uitgangspunten worden gehanteerd. Veel voorkomend is de hardnekkige bewering dat een zonnejaar 365,2425 of 365,25 of 365,2422 dagen heeft. Op deze manier geformuleerd is dit per definitie een halve waarheid. In samenhang hiermee is ook de aanname dat deze oude volken een ”zwervend” of ”vaag” kalenderjaar gebruikten dat niet gelijk was aan de duur van een natuurlijk zonnejaar waardoor hun kalender volledig uit de pas ging lopen onjuist. Daarbij wordt niet zelden ten onrechte vermeld dat deze oude volken dit wel wisten maar er niets aan deden. Of dat ze schrikkeldagen gebruikten om dit verschil te compenseren. Maar onweerlegbaar bewijs hiervoor is nooit geleverd.

Daarnaast wordt ook vaak de suggestie gewekt dat onze huidige westerse kalender het enige juiste model is voor het tellen van tijd en dus als referentie moet worden beschouwd voor de vergelijking met andere systemen van tijdrekening. Bovendien wordt regelmatig voorbijgegaan aan het verschil tussen de astronomische werkelijkheid van nu en de dagelijkse beleving door de mens in de oudheid die niet altijd hetzelfde is. Ook uitspraken zoals het verschuiven van de equinoxen en het lentepunt zijn misleidend. En dit alles gebaseerd op ons huidige systeem van tijdrekening dat aan het begin van de westerse jaartelling is ontstaan als een slecht functionerende Juliaanse kalender. Pas in 1582 CE werd deze herzien en kreeg de huidige, goed functionerende structuur. Maar dit konden de Ouden ruim 5000 jaar daarvoor natuurlijk niet weten.

Alles wijst erop dat de kern van deze problematiek voortkomt uit de westerse interpretatie van de duur van zonnejaar en dan met name van de zonnedag in combinatie met de wijze waarop beiden worden vergeleken met andere tellingen van tijd. Het is de zonnedag die bij al deze aannames of vergelijkingen steeds weer over het hoofd wordt gezien. Het is als het ware het stiefkind van de tijdrekening geworden.

In de meeste besprekingen over de fascinerende systemen van tijdrekening ontbreekt meestal een overzicht van de basiselementen, structuur, werking en onderlinge samenhang van de belangrijkste systemen. Informatie die vaak alleen verspreid en fragmentarisch beschikbaar is. Meestal wordt volstaan met allerlei verwijzingen naar bestaande bronnen zonder deze bronnen te controleren. Reden om alle beschikbare, relevante en controleerbare informatie te verzamelen en te ordenen tot een overzichtelijk geheel en waar mogelijk te controleren op de inhoud. Dit biedt tevens de gelegenheid dieper in te gaan op de zin en onzin over de oorsprong en werking van onze huidige kunstmatige westerse of Gregoriaanse kalender, de relaties met het natuurlijke zonnejaar en sterrenjaar en de soms merkwaardige rol die de dag daarin wordt toebedacht. Hopelijk kan dit bijdragen aan een beter begrip van dit onderwerp en daarmee tot een zorgvuldiger afwegen en toepassen van vergelijkingen tussen de verschillende systemen van tijdrekening. Dit geldt in het bijzonder voor de chronologie.

1 Inleiding

Als de vraag wordt gesteld hoeveel dagen ons kalenderjaar heeft zal iedereen zonder aarzelen 365 zeggen. Wanneer vervolgens de vraag wordt gesteld of er nog een ander jaar is dan die van 365 dagen dan zullen de meesten zeggen het schrikkeljaar van 366 dagen. Maar bij de vraag naar de reden voor het bestaan van deze twee verschillende jaren blijft het meestal stil.

Dit is niet zo verwonderlijk want in het gewone dagelijkse leven zal vrijwel niemand zich echt bezighouden met het ontstaan of de werking van kalenders. De belangstelling voor een kalender gaat gewoonlijk niet verder dan het weten van de huidige datum, het onthouden van een aantal belangrijke datums zoals verjaardagen en feestdagen, of wanneer de vakantie begint. Wat de meesten echter niet weten is dat er een hele wereld schuilgaat achter het ontstaan, de structuur en de werking van wat in de volksmond de kalender wordt genoemd. In onze huidige wereld vooral bekend als de papieren jaarkalender en tegenwoordig als de digitale kalender of agenda. Het meten en bijhouden van tijd is vanaf het prille begin onlosmakelijk verbonden met de ontwikkeling en het leven van de mensheid.

Maar bij het bestuderen van oude beschavingen en culturen krijg je echter onvermijdelijk te maken met de door deze oude volken ontwikkelde systematiek van het tellen en vastleggen van tijd. Dat kan ook niet anders omdat vrijwel alle oude culturen op de een of andere manier de voor hen belangrijkste gebeurtenissen met behulp van een systeem van tijdrekening, meestal in de vorm van een soort kalender, probeerden vast te leggen. Dit betrof enerzijds gebeurtenissen die te maken hadden met heersers of andere hooggeplaatste figuren die zichzelf zo belangrijk vonden dat alle voor hen belangrijke momenten en gebeurtenissen, uiteraard met vermelding van hun naam, als een zeer belangrijk moment in de geschiedschrijving moesten worden vastgelegd. Anderzijds probeerde men om de cyclus van sommige natuurlijke, maar onbegrepen en daardoor vaak onheilspellende, gebeurtenissen zoals zons- of maansverduisteringen, passerende kometen of opvallende sterren, vast te leggen en te voorspellen. Ook werden de eerste systemen van tijdnotering op een praktische wijze door heersers gebruikt voor het regelmatig innen van belastingen. Het is daarom niet verwonderlijk dat het vastleggen van tijd in de vorm van kalenders een essentiële rol speelde in het leven en de ontwikkeling van beschavingen. Hoewel tot voor een paar honderd jaren geleden wel beperkt tot de klasse van de heersers, priesters en wetenschappers want de gewone burger wist niets van dit verschijnsel van het bijhouden van tijd en kon bovendien niet lezen of schrijven.

Het is vooral dankzij dit vastleggen van momenten in de tijd in de vorm van inscripties, schrift of afbeeldingen, dat we in de loop van de tijd inzicht hebben gekregen in de verschillende gebruikte systemen voor het tellen van tijd. Inmiddels zijn de meeste kalendersystemen die op onze aardbol bestaan of hebben bestaan, bekend. Sommige van deze systemen gaan zeer ver terug in de tijd. Het lijkt wel of het grip willen hebben op en begrijpen, controleren en beheersen van tijd ingebakken zit in de genen van Homo sapiens want dit is al zo oud als de mensheid zelf. Nilsson (2015) heeft onderzocht welke soorten kalenders er in de oudheid werden gebruikt en kwam tot de conclusie dat vrijwel alle volken verspreid over de hele wereld begonnen zijn met een maankalender. Sommige volken gingen vervolgens de maan-zon-kalender gebruiken of stapten over op de zonnekalender.

Hoewel je tijd niet kunt zien, horen, voelen of ruiken hebben we inmiddels wel allerlei instrumenten ontwikkeld om het ogenschijnlijke verloop van tijd te kunnen meten. We zijn ons alleen van tijd bewust bij de verplaatsing van zichtbare of onzichtbare, vaste, vloeibare of gasvormige materie. We spreken dan van de tijd die materie nodig heeft om punt A naar punt B te gaan.

Tijd wordt in de wetenschap de vierde dimensie genoemd en is onlosmakelijk verweven met de drie ruimtelijke dimensies (punt, vlak, kubus). Ruimte en tijd tezamen worden in de relativiteitstheorie van Albert Einstein daarom de ruimtetijd genoemd. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in de loop van de geschiedenis bibliotheken vol met boeken zijn geschreven over het verschijnsel tijd. Ook over het gebruik van bewaard gebleven vormen van tijdmetingen bij oude beschavingen is heel veel literatuur beschikbaar.

Al sinds het ontstaan van het bijhouden van en rekenen met tijd waren de meeste kalenders direct of indirect afgestemd op de natuurlijke seizoenen. En wij gebruiken vandaag de dag nog steeds een kalender die volledig op de natuurlijke seizoenen van het zonnejaar is gebaseerd. Naast de kalenders voor het meten en bijhouden van tijd gebruiken we sinds de 17e eeuw ook gelijkmatig lopende uurwerken die in de loop van de tijd steeds verder werden verfijnd. Inmiddels wordt er gewerkt met atoomklokken en nanoseconden. En laten we eerlijk zijn, ons dagelijkse leven is eigenlijk niet meer voor te stellen zonder kalenders en uurwerken. We zijn slaaf geworden van het fenomeen tijd. Het fenomeen tijd heeft dan ook iets fascinerends. Ik veronderstel dat dat komt omdat tijd iets ongrijpbaars en geheimzinnigs is. Ook de wetenschap heeft hiervoor tot op heden geen sluitende verklaring gevonden. Niemand weet eigenlijk wat tijd is.

Wat echter steeds weer opvalt, is dat de tijdmeting van een oude cultuur vaak wordt gespiegeld aan die van onze moderne westerse cultuur en onze wijze van tijdmeting. En dat blijkt nog wel eens tot allerlei misvattingen en onjuiste conclusies te leiden. Probleem daarbij is dat uit de literatuur duidelijk valt af te leiden dat bepaalde eerder vermelde feiten of veronderstellingen als de waarheid zijn overgenomen zonder deze eerst aan de echte feiten te toetsen waardoor allerlei misvattingen en onjuiste conclusies een eigen leven zijn gaan leiden. Wat velen niet weten of vergeten is dat tijd in het verleden een andere dimensie had in de belevingswereld van de gewone mens. Een dag begon gewoon wanneer de dageraad aanbrak en eindigde als het donker werd. Zij hadden geen klokken en wisten niets van dagen van 24 uren. Hun dagen waren de door de zon bepaalde zonnedagen en die hadden een onregelmatige en iets andere duur dan onze vaste 24 uren dagen. Iets waar velen van nu niet eens meer bij stilstaan.

De wijze waarop oude beschavingen de tijd beleefden, probeerden vast te leggen en te beheersen, is een fascinerend onderwerp. In de vele jaren dat ik met name de oude beschavingen in het oude Mexico (Mesoamerika) en het Midden-Oosten (Mesopotamië) bestudeer ondervond ik echter dat veel van de informatie over dit onderwerp vaak fragmentarisch aanwezig is en meestal zeer wetenschappelijke van aard. Dit is soms moeilijk te volgen en daarom slecht toegankelijk voor een breed lezerspubliek. Helaas ook wordt je met regelmaat op het verkeerde been gezet door allerlei onjuiste of onvolledige informatie. Om dit boeiende onderwerp voor iedere geïnteresseerde lezer zoveel mogelijk toegankelijk te maken heb ik daarom geprobeerd de teksten controleerbaar en toegankelijk te maken in een voor iedereen begrijpelijke taal. Of ik hierin ben geslaagd is uiteraard ter beoordeling aan de lezer.

In de literatuur lijkt het er soms sterk op dat sommige auteurs zelf niet goed op de hoogte zijn van de oorsprong, samenstelling en werking van de kalender die men bespreekt. Dit komt met name voor wanneer het gaat om vergelijkingen van het natuurlijke zonnejaar met ons huidige westerse, of Gregoriaanse, systeem van tijdrekening waarbij zij zich vaak laten leiden door uitspraken van eerdere auteurs. Ook wordt op het gebied van het meten van tijd niet zelden kennis toegeschreven aan de Ouden waar deze een paar duizend jaar voor het begin van onze jaartelling onmogelijk over konden beschikken.

Een illustratief voorbeeld is de regelmatige vermelding dat een zonnejaar 365,25 of 365,2425 of 365,2422 dagen telt. Dit is slechts de halve waarheid en werkt bovendien misleidend. Want wat hier feitelijk wordt bedoeld is dat een zonnejaar van 365 zonnedagen gelijk is aan 365,25 of 365,2425 of 365,2422 westerse standaarddagen volgens het westerse systeem van tijdrekening maar dan wel op basis van epoche 2000.0 CE. Het is dus niet het zonnejaar dat 365,25 of 365,2425 of 365,2422 dagen telt maar onze kunstmatige westerse jaarkalender. Dit wordt er meestal niet bij vermeld.

Bovendien wordt vrijwel steeds een referentie van een zonnejaar uit het jaar 2000 CE gebruikt in plaats van een referentie uit een jaar dichter bij de betreffende oude kalender waar het om gaat. Omdat de gemiddelde duur van een zonnejaar in de loop der tijd is afgenomen kan het gebruik van de hedendaagse duur over perioden van 2000 of 6000 jaren tot allerlei afwijkingen leiden. Maar inmiddels zijn helaas al wel vele berekeningen en vergelijkingen in de chronologie en systemen van tijdrekening gebaseerd op vergelijkingen tussen de waarden van lang geleden en de waarden van onze moderne tijd.

Waar ook steeds aan voorbij wordt gegaan is de dag als de spil, het kloppende hart, van ieder systeem van tijdrekening. Dit is de enige echte maat van tijd die uiteindelijk de duur van een jaar bepaald maar vrijwel altijd wordt vergeten. In hoofdstuk 3 zal duidelijk worden waarom. Iets vergelijkbaars heb ik al eerder op basis van feiten aangetoond bij de oude Mexicaanse kalender, ook bekend als de mesoamerikaanse kalender (Schoenmakers, 2017, 2018).

In dit laatste is namelijk een uitspraak van de Spaanse geestelijke Diego de Landa, verwoord in een tekst uit ongeveer 1566 CE, door enkele wetenschappers uit de 19e en begin 20e eeuw als een soort heilige waarheid overgenomen. Daarna is dit als uitgangspunt een eigen leven gaan leiden zonder dat dit ooit aan de feiten werd getoetst. En tot op de dag van vandaag blijkt dit soms nog steeds als uitgangspunt te worden overgenomen. Iets vergelijkbaars is ook te zien bij de oude Egyptische en Babylonische kalenders en hun systeem van tijdrekening. In hoofdstuk 10 wordt duidelijk dat ook hier weer de bron te herleiden is tot een enkele persoon en een moment in de geschiedenis als bron voor allerlei hardnekkige misvattingen.

Reden om de controleerbare feiten van zowel het natuurlijke zonnejaar als onze kunstmatige westerse kalender, tezamen met hun onderlinge relaties, te inventariseren en aan de hand hiervan de in de literatuur vermelde uitgangspunten, inzichten, beweringen en misvattingen inzichtelijk te maken en te vergelijken met bekende en bewezen feiten. Het doel is om feiten van ficties te onderscheiden. Hopelijk kan dit bijdragen aan een beter begrip van de nauwe relatie tussen het zonnejaar en de westerse tijdrekening met de dag als de onderschatte en vaak vergeten schakel, dat steeds weer het stiefkind van de tijdrekening blijkt te zijn.

2 De aanleiding

Iedereen die zich op de een of andere manier verdiept in de op het zonnejaar gebaseerde kalenders of tijdrekeningen, zal ongetwijfeld met grote regelmaat de volgende stellingen zijn tegengekomen:

een zonnejaar heeft 365,242189 (of 365,25 of 365,2425) dagen

of

de equinoxen en het lentepunt verschuiven als gevolg van precessie

Wanneer de eerste stelling juist zou zijn had hier net zo goed kunnen staan dat het zonnejaar hetzelfde aantal dagen per jaar heeft als de huidige westerse tijdrekening, onze Gregoriaanse kalender. Maar de werkelijkheid is anders.

Wat betreft de tweede stelling mogen we blij zijn dat dit evenmin waar is. Een equinox is een door de mens bedacht en berekend punt van de zon en onlosmakelijk verbonden met de baan van de aarde rond de zon en daarom voor ons een constante in de tijd. Het verschuiven van een equinox op aarde zou voor aardbewoners betekenen dat de baan van de planeet aarde zou zijn veranderd.

Stellingen die op deze manier worden vermeld zijn onvolledig, deels onjuist en daardoor misleidend maar worden al heel lang en door velen op deze manier in de literatuur vermeld en gebruikt om de werking van en samenhang tussen de verschillende systemen van tijdrekening te verklaren. Een hardnekkig gebruik dat helaas al tot vele misvattingen en verkeerde interpretaties heeft geleid. Het is inmiddels zo vanzelfsprekend geworden deze stellingen op bovengenoemde wijze te vermelden, dat men er zelfs niet eens meer bij stilstaat wat men feitelijk vermeld. Reden om op basis van controleerbare en onweerlegbare feiten aan te tonen dat bovengenoemde stellingen zoals ze op deze manier naar voren worden gebracht onvolledig en deels onjuist zijn en kunnen leiden tot verkeerde interpretaties. Interessant daarbij is om ook de herkomst hiervan te achterhalen.

Omdat ik al vele jaren het schrift, de iconografie en de systemen van tijdrekening en kalenders van met name de oude Egyptenaren en Mexicanen bestudeer zal ik me beperken tot deze twee systemen van tijdrekening, mede omdat beiden zijn gebaseerd op het zonnejaar. Maar het zal duidelijk worden dat de onontkoombare natuurlijke wetmatigheden die hierop van toepassing zijn net zo van toepassing zijn op alle andere vormen van tijdrekening.

In de literatuur over de kalenders van de oude Egyptenaren en Mexicanen is heel vaak te lezen dat ”de Ouden die met een zonnejaar van 365 dagen werkten, ook wisten dat een zonnejaar eigenlijk 365,25 dagen heeft waardoor hun kalender ieder vierde jaar verder uit de pas ging lopen met de seizoenen, maar dat de Ouden daaraan niets deden.” Dit is pure fictie en zeer waarschijnlijk te wijten aan onvoldoende kennis van het zonnejaar, de wijze waarop onze huidige westerse kalender in elkaar zit en het feit dat vroeger veel metingen tussen zon, maan en sterren werden uitgevoerd.

Maar u kent ongetwijfeld ook het gezegde ”ziende blind”. Want je hoeft niet eens te gaan zoeken naar het aantoonbare en onweerlegbare bewijs dat deze stelling een halve waarheid en daardoor zelfs misleidend is. U heeft ongetwijfeld, meestal onbewust, het tastbare bewijs dagelijks in handen en gebruikt het waarschijnlijk iedere dag. En zonder het zelf te beseffen beïnvloed dit bewijs zelfs uw dagelijkse leven. U zult straks begrijpen waarom.

Voor de tijdrekening gebruikten de oude Mexicaanse en Egyptische beschavingen, naast een maankalender, ook een zonnekalender van 365 zonnedagen. En al vanaf het eerste begin kwam ik bovengenoemde stellingen in de literatuur vele keren tegen. Omdat ik zeer vertrouwd ben met enerzijds de structuur en werking van zowel het zonnejaar als onze westerse tijdrekening, bekend als de Gregoriaanse kalender, en anderzijds met de natuurlijke wetmatigheden die hierop van invloed zijn, werd me al snel duidelijk dat er iets niet klopte in deze veelvuldig gebruikte stellingen.

Dit was aanleiding om alle beschikbare en controleerbare feiten bij elkaar te brengen om aan te tonen dat deze twee stellingen deels onjuist, onvolledig en daardoor zelfs misleidend zijn. De eerste tijdrekening waarvan ik eerder al kon aantonen dat er sprake was van een soortgelijke misleidende stelling was die van de oude Mexicanen, ook wel bekend als de mesoamerikaanse kalender. Hier leidde een soortgelijke onjuiste vermelding over het door de oude Mexicanen gebruikte kalenderjaar van de Spaanse geestelijke Diego de Landa in de 16e eeuw CE, tot een zelfde soort misvatting en misleiding (Schoenmakers, 2017, 2018). Maar we zullen zien dat de onjuiste aanname van Landa een veel verder in de tijd teruggaande oorsprong heeft.

Bij de veel oudere Egyptische tijdrekening ligt de herkomst enigszins gecompliceerder vanwege de vele, vaak wederzijdse, invloeden en uitwisselingen van kennis van en tussen de verschillende omringende culturen. Maar uiteindelijk blijkt de oorsprong van de eerste van deze twee stellingen, die leidde tot een opeenvolging van verkeerde interpretaties, te zijn begonnen bij een Griekse astronoom uit de 5e eeuw BCE die niet alleen de tijdrekening van dit deel van de wereld, maar onbedoeld uiteindelijk ook de westerse interpretatie van zowel de oude Egyptische als de Mexicaanse kalender heeft beïnvloed. Ik weet alleen niet of hij zich hierdoor vereerd zou voelen.

Naast en voortvloeiend uit deze stellingen worden in het grote aanbod van literatuur dat over deze onderwerpen beschikbaar is, met grote regelmaat allerlei andere vooroordelen, uitgangspunten en aannames met betrekking tot de oude systemen van tijdrekening vermeld. Het gaat dan vooral om de wijze waarop in sommige gevallen de vergelijkingen tussen de oude en de huidige systemen van tijdrekening worden gemaakt, vermoedelijk omdat de juiste feiten niet bij iedereen bekend zijn. Soms lijkt zelfs de basiskennis van de huidige westerse kalender volledig te ontbreken. Het gaat hierbij dan met name om de oorsprong, structuur en werking van ons huidige westerse systeem van tijdrekening, vaak samen met onvoldoende besef van het beperkte kennisniveau van de betreffende volken in die oudheid.

Ook komt het voor dat bepaalde kennis van nu zonder enige onderbouwing door feiten wordt toegeschreven aan de volken uit de oudheid in de kennelijke veronderstelling dat ook zij over deze kennis beschikten. Sommige auteurs willen ons zelfs doen geloven dat wij op het gebied van de astronomie zelfs nog veel zouden kunnen leren van de Ouden en dan met name van een Mexicaans volk als de Maya's. Vaak ook lijkt het er sterk op dat men gewoon naar een gewenste uitkomst toe redeneert. Opvallend is dat er auteurs zijn die de huidige astronomische kennis rechtstreeks vergelijken met waarden uit de oudheid en zonder meer voorbij gaan aan de in die tijd bij de Ouden aanwezige kennis en gedachtenwereld (zie ook Conman 2003: pp. 41, 42).

Voorop staat dat de oude beschavingen uit de tijd van voor het begin van onze jaartelling beslist niets wisten van een uurwerk, een kompas of de complexe bewegingen van hemellichamen. Zij leefden in het tijdperk van de aarde als middelpunt van het heelal waar de zon omheen draait. Maar ze moesten, zonder dat overigens zelf te weten, wel rekening houden met de werkelijke natuurlijke wetmatigheden. De astronomische kennis van de Ouden was daarom ten opzichte van onze moderne kennis dan ook maar zeer beperkt en vooral gebaseerd op nauwkeurig observeren. De door de Ouden aan ons overgeleverde kennis moet daarom altijd eerst worden beoordeeld op basis van de toen bij hen aanwezige kennis voor zover dat bekend is uit de bewaard gebleven geschriften en artefacten. Pas wanneer het beeld van de Ouden op basis van de aanwezige feiten bekend is, is het zinvol dit te vergelijken met de huidige feiten om te kunnen beoordelen wat de Ouden feitelijk hadden waargenomen en opgeschreven. Helaas gebeurt dit veel te weinig.

Opmerkelijk is verder dat veel auteurs er vanuit lijken gaan dat ons huidige westerse systeem van tijdrekening, bekend als de Gregoriaanse kalender, het enige correcte systeem is waaraan oude kalenders en systemen van tijdrekening moeten worden getoetst en voldoen. Het tegendeel is echter waar. Zoals in de verdere bespreking zal blijken is ons huidige westerse systeem van tijdrekening een bonte verzameling van kennis van verschillende culturen die door een Griekse astronoom ruim 2000 jaar geleden in elkaar zijn gevlochten. Maar het was, is en blijft vooral een kunstmatig en rekenkundig geheel dat weliswaar gebaseerd is op de duur van het zonnejaar en het in de pas blijven met de seizoenen, maar verder op zich niets te maken heeft met astronomie of een natuurlijke cyclus.

Zoals eerder aangegeven gaat het hier in het bijzonder om het natuurlijke zonnejaar in relatie tot ons huidige westerse systeem van tijdrekening en de verschillende misvattingen die hierover bestaan waarbij feiten en ficties door elkaar worden toegepast. Ik gebruik hier met opzet de benaming 'systeem van tijdrekening' en niet 'kalender' omdat een kalender door het overgrote deel van de mensen vooral gezien wordt als een praktische, jaarlijkse rechtlijnige lijst of tabel met de verdeling van de dagen, weken en maanden. De kalender wordt dus vooral gezien als een gevisualiseerd, in het dagelijkse leven praktisch handig en bruikbaar, onderdeel van het systeem van tijdrekening. Maar het systeem achter deze kalender is, zoals we zullen zien, een vrij complex geheel en volledig gebaseerd op een veel grotere periode met verschillende spelregels.

Over de wereld gezien werden en worden verschillende soorten jaren of kalenders gebruikt. Dit zijn de maankalender, de maan-zon-kalender, het zonnejaar en zonnekalender, de Juliaanse kalender, de Gregoriaanse kalender, het sterrenjaar en het siderische zonneaar. In de verschillende systemen van tijdrekening komen we deze soorten jaren dan ook steeds tegen. Soms zijn ze zelfs verweven met elkaar. Het natuurlijke zonnejaar en in het bijzonder de zonnedag, is de enige echte hoofdrolspeler en was, is en blijft de maat van tijd voor alle door mensen in de oudheid bedachte systemen van tijdrekening.

De tweede hoofdrolspeler is het volledig op het zonnejaar gebaseerde westerse standaardjaar van 365 dagen van 24 uren waaraan volgens vastgestelde spelregels met regelmaat schrikkeldagen en incidenteel ook schrikkelsecondes worden toegevoegd. Dit systeem is de feitelijke basis voor de Juliaanse en de Gregoriaanse kalender waarvan de laatste onze huidige westerse kalender is.

Het derde systeem is dat van de maankalender, een voortdurende kwelgeest van de Ouden bij hun tijdmetingen om in de pas te blijven lopen met de seizoenen van het zonnejaar. Maar het is ook de bron voor de opeenvolging van allerlei interpretaties die hebben geleid tot verschillende misvattingen.

Tot slot is er het vierde systeem van tijdtelling in de vorm van het sterrenjaar waarbij we te maken krijgen met het fenomeen van de precessie, dat eveneens voor de nodige verwarring blijkt te zorgen en vermoedelijk aan de basis ligt van de eerder genoemde stelling van de 365,25 dagen. Deze vier belangrijkste systemen van tijdrekening zullen in de volgende hoofdstukken aan de orde komen.

Zeer opvallend is echter dat bij alle besprekingen in de grote hoeveelheid beschikbare literatuur over kalenders en tijdrekeningen, vrijwel altijd voorbij wordt gegaan aan de motor, de aandrijving, het kloppende hart van iedere tijdrekening: de dag, geworden tot stiefkind van de tijdrekening. Vergeten wordt steeds weer dat het uiteindelijk de dag is die de duur van een jaar bepaald, ongeacht het systeem van tijdrekening. En het is de dag die in de loop van de geschiedenis geleidelijk aan in duur aan de menselijke behoefte is aangepast maar in werkelijkheid altijd dezelfde zonnedag is gebleven. Daarom ook wil ik beginnen met dit meestal vergeten, maar onmisbare, onderdeel in het bestaan van alle menselijke wezens op deze aardbol.

> **Nelson et al. (2001: 526) verwoorden in hun conclusie heel treffend dat iedere fase tijdens de ontwikkeling van het bijhouden van tijd, tegelijk een stap verder weg was van de zon als maat van de tijd, in het voordeel van een meer uniforme, toegankelijke, of makkelijke standaardtijd. Een waarheid die we verderop terug zullen zien in de vergelijking tussen de natuurlijke cyclus van de aarde rond de zon en de kunstmatige omloop van het westerse systeem van tijdrekening.**

Omdat het uiteindelijke doel van deze bespreking is om helderheid te brengen in de herkomst van de twee eerder genoemde stellingen en daarbij feiten van ficties te scheiden, richt ik me met name op het Egyptische en Babylonische systeem van tijdrekening en de Griekse invloeden hierop. Dit omdat ik er na vele jaren studie van de verschillende systemen van tijdrekening inmiddels sterk van overtuigd ben dat de herkomst van een deel van de misvattingen moet worden gezocht in enerzijds Egypte, het geboorteland van onze westerse kalender en tijdrekening, en anderzijds Babylonië en het hellenistische Griekenland.

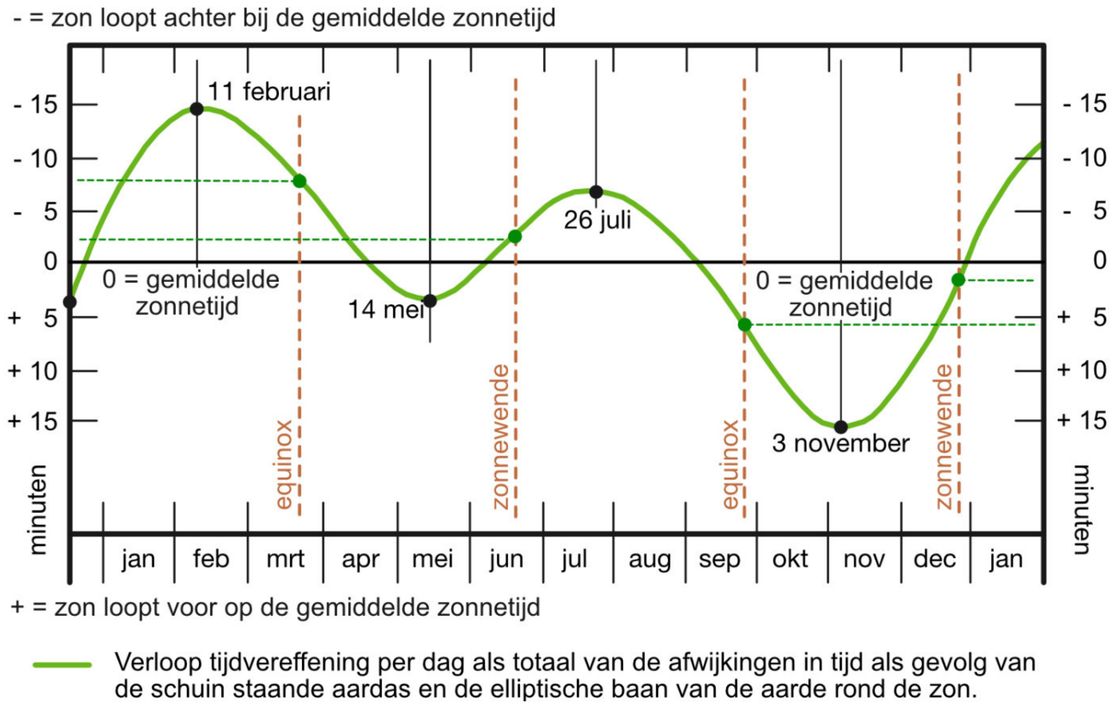
3 De dag als kloppend hart

Het kleinste, onmisbare, natuurlijke deel van ieder systeem van tijdrekening, is de dag. Zonder dag geen meten van tijd. En toch wordt in de literatuur over kalenders of tijdrekening aan dit zeer essentiële onderdeel van het menselijk leven op aarde nauwelijks of geen aandacht besteed. Het is het stiefkind in de tijdrekeningen. Terwijl de dag toch de enige bepalende eenheid is die kalenders en klokken aanstuurt. In de vele geraadpleegde literatuur over voor dit onderwerp ben ik slechts enkele vermeldingen tegengekomen, o.a. van Ludwig Borchardt (1920) en Ludwig Ideler (1831).

Borchardt beschrijft de ontwikkeling van een zonnedag als eenheid van tijd zoals die in het oude Egypte tot aan de Griekse periode is ontstaan en gebruikt. Hij geeft vele voorbeelden en zeer gedetailleerde tekeningen van verschillende archeologische vondsten van instrumenten om tijd te meten, bestaande uit verschillende soorten zonnewijzers en waterklokken. Uit zijn onderzoek is gebleken dat geen enkele hiervan geschikt is om nauwkeurige tijdmetingen te doen. Ook van de sterrenbewegingen waren de oude Egyptenaren niet in staat een juiste tijdverdeling te krijgen.

En hoewel de natuurlijke zonnedag door de tijd heen tot op de dag van vandaag ongeveer hetzelfde is gebleven, maar wel met een dagelijks wisselende duur, heeft deze in het belang en het gemak van de mens in de loop van de tijd een kunstmatige aanpassing in duur ondergaan. En het is deze verandering die van grote invloed is geweest op de wijze waarop wij de tijd zijn gaan meten waarmee we nu dagelijks werken en vergelijkingen uitvoeren. Want het is niet handig om tijd te gaan bijhouden met dagen van 24 uren en 57 seconden of uren van 60 minuten en 0,9 seconden. Men kon in die tijd niet tellen met dergelijke nauwkeurige fracties, alleen met hele eenheden.

Het is daarom niet zo verwonderlijk dat de onregelmatige natuurlijke zonnedag in de loop der tijd geleidelijk is omgevormd tot een universele en constante standaarddag van precies 24 uren. Want naarmate de instrumenten waarmee tijd werd gemeten nauwkeuriger werden, werd ook steeds duidelijker dat de duur van een zonnedag in de loop van een jaar nogal wisselvallig was. Dit is goed te zien in onderstaande vereenvoudigde grafiek van de tijdvereffening. Zie voor verdere bespreking onder 3.2 waar het jaarlijkse patroon van deze wisselende duur van een zonnedag besproken wordt.



Afbeelding 3.1 - Jaarlijks patroon van de totale tijdvereffening per zonnedag als gevolg van de schuin staande aardas en de elliptische baan van de aarde rond de zon.

Ludwig Ideler (1831: 33) merkte in zijn tijd al zeer terecht op dat van alle eenheden van tijd de dag de eenvoudigste en zekerste is. Anders dan het uur en de week omdat deze rekenkundig zijn gekozen, of de maanmaand en het jaar die door langdurige waarnemingen als gemiddelden tot stand zijn gekomen. Volgens Ideler is alleen de natuurlijke dag met voldoende zekerheid toe te kennen als basis van alle tijdrekeningen. En hij sloeg hiermee de spijker precies op z'n kop. Want het is een onweerlegbaar feit dat alle vormen van tijdmeting altijd zijn begonnen met de dag als het meest simpele en herkenbare natuurlijke element van tijd. De spil, het kloppende hart, de motor van iedere tijdrekening, maar in de literatuur echter zelden vermeld.

Het is opvallend dat een dag in de literatuur vrijwel altijd als een soort vanzelfsprekende, constante eenheid van tijd wordt beschouwd die door de tijd heen altijd hetzelfde is gebleven. De mens heeft de duur van een dag echter geleidelijk aangepast aan zijn eigen behoeften. Van de oorspronkelijke natuurlijke en onregelmatige zonnedag tot een op het menselijk gemak afgestemde gelijkmatige eenheid met een kunstmatig afgeronde waarde van precies 24 uren zonder fracties. Maar de natuurlijke zonnedag is, als resultaat van de onontkoombare natuurwetten, uiteraard nog steeds de ware zonnedag met z'n wisselende tijdsduur. Dit zullen we ook zien in de bespreking van de structuur en werking van ons huidige westerse standaardsysteem van tijdrekening en de hierop gebaseerde voor ons vertrouwde jaarkalender. Toomer (1984: 23) merkt op dat Ptolemy in zijn Almagest voor de dag een combinatie gebruikt van de Griekse woorden voor 'dag' en 'nacht' om daarmee de zonnedag uit te drukken.

3.1 De zonnedag als basis

Het is een vaststaand feit dat door de geschiedenis heen over de hele wereld iedere telling van tijd altijd is begonnen met de dag. Het tellen van de dagen op zich gebeurde overal op dezelfde wijze door de dagen een voor een bij elkaar op te tellen zoals kinderen dit op school leren. De meest praktische en elementaire vorm van het tellen van de ware zonnetijd. Het was echter de wijze waarop de telling van dagen vervolgens werd vastgelegd in steen, bot, ivoor, hout, metaal, huid of papier, die zeer verschillend is geweest. Een regelmatig voorkomende methode, waarvan ook verschillende voorbeelden door de tijd heen bewaard zijn gebleven, is het primitieve gebruik van streepjes en symbolen. De meeste hiervan betreffen overigens het tellen van maandagen.

Een heel bijzondere vorm van het tellen van maanfasen en maanmaanden is gevonden in Orkney & Shetland in Crathes Castle (Schotland) en is gedateerd op ongeveer 8000 BCE. Hier is namelijk gebruik gemaakt van 12 gegraven kuilen die volgens professor Vince Gaffney zowel de 12 fasen van de maan als de 12 maanmaanden in een jaar symboliseren (BBC News, 15 juli 2013).

Een ander zeer oud voorbeeld van het krassen van streepjes in een steen, is gevonden in 2007 op de top van de Monte Alto, in de Alban Hills ten zuiden van Rome in Italië (afbeelding 3.2; zie ook website Ancient-Origins, 23 juli 2019). De krassen of inkervingen op deze langwerpige steen zijn zodanig geplaatst dat ze duiden op een maankalender. Ook deze steen is gedateerd op ongeveer 8000 BCE.



Afbeelding 3.2 - Streepjes in een steen uit ± 8000 BCE die wijzen op een maankalender. Gevonden in 2007 CE op de top van de Monte Alto, in de Alban Hills ten zuiden van Rome in Italië (zie website Ancient-Origins, 23 juli 2019).

Voor ieder mens, van de prehistorie tot de dag van vandaag, bestaat een dag uit een periode van licht en een periode van duisternis die tezamen als een dag worden gezien (*nychtemeron*). Sinds het ontstaan van de mensheid begon en begint voor de overgrote meerderheid van de gewone burgers, boeren en buitenlui, de dag nog altijd gewoon bij zonsopkomst of zonsondergang en eindigt bij de volgende zonsopkomst of zonsondergang. En ik weet niet hoe u het ervaart en ongeacht wat de interpretatie van een handjevol oude priesters of moderne wetenschappers mag zijn, voor mij begint de nieuwe dag gewoon zodra ik ‘s morgens m’n ogen open doe en uit mijn bed stap.

Maar vanwege praktische, religieuze, administratieve of astronomische redenen, kan het moment waarop een dag begint of wordt geteld hiervan afwijken. In onze huidige UTC/GMT tijdrekening bijvoorbeeld, begint een dag officieel om 24.00 of 00.00 uur middernacht en duurt precies 24 gelijke uren van ieder 60 minuten en 60 seconden per minuut. De dag wordt hierbij al vanaf de eerste seconde geteld. In de sterrenkunde echter wordt de Juliaanse dag, die overigens niets te maken heeft met de Juliaanse kalender, geteld om precies 12.00 uur UTC, dus bij het begin van de middag. Maar bij volken die in het verleden een maankalender gebruikten begon de telling van een dag kort na zonsondergang zodra de maan zichtbaar werd. In de joodse en islamitische kalender gebeurt dit overigens nog steeds. Ik betwijfel echter ten zeerste of de gewone burgers dit in hun dagelijkse leven ook zo beleefden. Dit is zo’n voorbeeld van het verschil tussen de wetenschappelijke benadering en de praktische dagelijkse beleving van de doorsnee mens.

En hoewel lang niet iedereen zich dit realiseert, is dat tot minstens in de 17e eeuw CE uitsluitend zonnedagen werden geteld (Reingold 2001: 175). Eerst op een vrij primitieve manier met streepjes, krasjes of steentjes, later met zonnewijzers en waterklokken, waarbij de periode van zonsopgang tot zonsondergang (het 'daglicht') in 12 delen werd verdeeld. Het is daarom onmogelijk dat men rond 1500 BCE, in het oude Mexico, of rond 3100 BCE in het oude Egypte, toen de eerste zonnekalenders ontstonden, ook maar enig besef had van een andere dag dan de zonnedag. Enig bewijs voor een ander soort dag ontbreekt volledig.

De oude Mexicaanse zonnekalender bijvoorbeeld, is tot in 1519 CE, dus meer dan 3000 jaren, ongewijzigd in gebruik geweest tot de Spanjaarden het land binnenvielen en alles plunderden, de bevolking onderdrukten en de inheemse zonnekalender verboden werd en in onbruik raakte. Hetzelfde geldt voor het oude Egypte waar de zonnekalender van 365 zonnedagen duizenden jaren ongewijzigd heeft bestaan en uiteindelijk het fundament werd voor onze huidige kalender en de internationale standaardtijd.

3.2 Uitsluitend metingen zonnetijd

Zeker tot aan de uitvinding van het slingeruurwerk in de 17e eeuw CE moest men vertrouwen op metingen van de zonnetijd. Tot dan was er nu eenmaal geen gelijkmatig lopend uurwerk dat op precieze en constante wijze de nu door ons gebruikte internationale standaardtijd kon meten. De grove en ongelijkmatige verdeling van de dag in 12 delen, de zogenoemde seizoenuren, kenden de Babyloniërs en Egyptenaren weliswaar al in 2000 BCE. Maar de Grieken hebben de dag op een gelijkmatige manier verdeeld in 24 gelijke delen wat nu het principe van de equinox-uren wordt genoemd. Net als bij de Babyloniërs had voor de Grieken een dag een lengte van 360º (tijdgraden). En deze werd vrij nauwkeurig in 24 delen van 15º verdeeld die later ‘uren’ werden genoemd.

Maar dit waren natuurlijk niet de ‘uren’ zoals wij ze nu gebruiken, maar zonne-uren afgeleid van de zonnedag. Deze verdeling ontstond ergens tussen de 4e en 1e eeuw BCE. Het meten van zonne-uren gebeurde uiteraard overdag. Voor de genoemde periode is het zonnejaar op basis van epoche 0.0 het meest geschikt met een duur die volgens Meeus (1992: 42) overeenkomt met een westerse standaardtijd van 365,24231 dagen. Dit betekent dat de duur van een zonnedag volgens de westerse standaardtijd in die tijd 365,24231 ÷ 365 = 1,000663863 dag was. Een zonnedag duurde dus volgens onze huidige begrippen 24 uren en 57,35776 seconden. En 1/24 deel daarvan, een ‘uur’ dus, is dan 1,000663863 ÷ 24 = 0,0416943276 lang. Omgerekend in westerse standaardtijd is dit 1 uur en 2,3899 seconden. Dus de fracties die de Ouden in de tellingen van tijd gebruikten waren fracties van een zonnedag en niet van een westerse standaarddag.

Bij de metingen van de bewegingen van de zon in relatie tot een aantal vaste sterren werd door de oude Grieken het astrolabium gebruikt. Het principe van de werking wordt door sommigen toegeschreven aan Hipparchus (2e eeuw BCE). Het was de Griekse astronoom Ptolemy (Toomer 1984: 217-271) die als eerste dit instrument noemt en beschrijft in zijn ‘Almagest’. Dit was een nog vrij eenvoudige eerste uitvoering van dit instrument zoals te zien in de bijbehorende afbeelding F (Toomer 1984: 218; zie afbeelding 3.3). De werking zoals getekend en beschreven door Ptolemy is in afbeelding 3.4 nader toegelicht. In de 8e en 9e eeuw CE bereikte het astrolabium de islamitische wereld en is daar door verschillende Arabische wetenschappers verder ontwikkeld en geperfectioneerd. Pas in de 11e eeuw CE brachten de Moren deze kennis via Spanje weer naar Europa waar het nog eeuwenlang als instrument voor navigatie werd gebruikt om in de 16e tot 18e eeuw te worden vervangen door de sextant. Het boven beschreven astrolabium is overigens niet hetzelfde als het astrolab dat de Babyloniërs zo’n 2000 tot 4000 jaar daarvoor gebruikten en wat meer leek op een soort sterrenkaart gegraveerd in een kleitablet (Bond & Hempsell 2008: 1 Introduction).

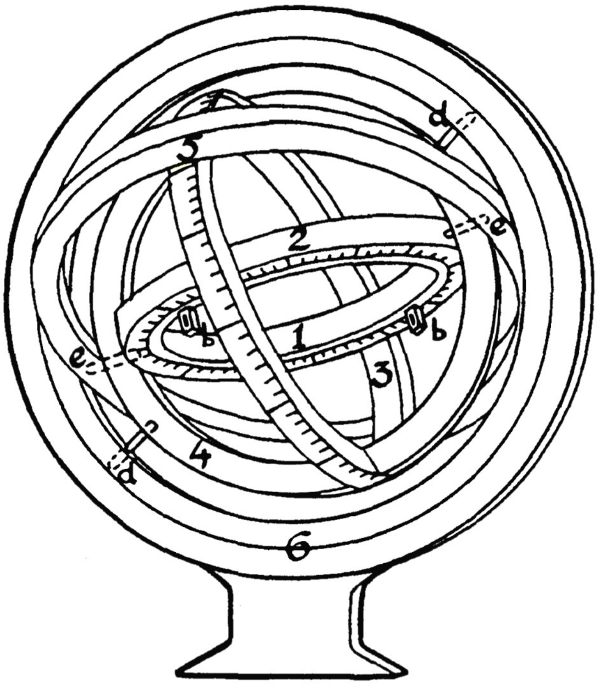


Fig. F

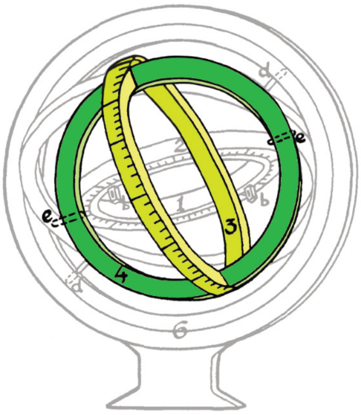
Afbeelding 3.3 - Afbeelding van het astrolabium zoals Ptolemy die heeft getekend op pagina 218 als figuur F in zijn Almagest (Toomer 1984: 218). Zie voor de samenstelling van dit astrolabium afbeelding 3.4.

De Engelse geleerde en Dominicaanse priester Roger Bacon (1214-1294 CE; Bridges and Jones 1914: 15) was van mening dat directe tijdmeting verreweg superieur was aan het handmatig berekenen van tijd wat tot aan zijn tijd gebruikelijk was. Maar hij wees het astrolabium af omdat dit veel te onnauwkeurig was en ook de waterklok vond hij veel te ingewikkeld (Borst 1993: 80).

Voor het tellen van en rekenen met eenheden, zoals dagen, werd een abacus gebruikt (Borst 1993: 58-60). Het was Gerbert van Aurillac die eind 10e eeuw CE de abacus in Europa opnieuw introduceerde. Een instrument dat tegenwoordig nog steeds wordt gebruikt om kinderen de basisprincipes van het rekenen, zoals optellen en aftrekken, te leren. Nu noemen we het een telraam.

Maar de abacus is in feite al een zeer oud instrument voor het tellen van allerlei soorten eenheden. De Sumeriërs werkten daar al mee tussen 2700-2300 BCE. Maar ook in Egypte, Perzië, Griekenland, China, Romeinse Rijk, India, Japan, Rusland, Korea, in Midden-Amerika en Zuid-Amerika werd met verschillende vormen van de abacus gewerkt.

Samenstelling astrolabium van Ptolemy

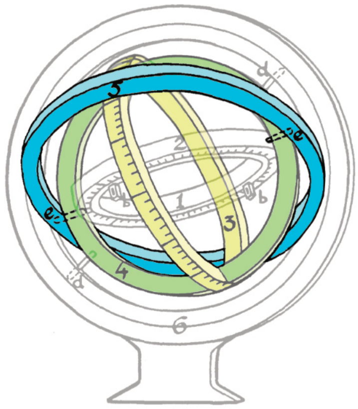


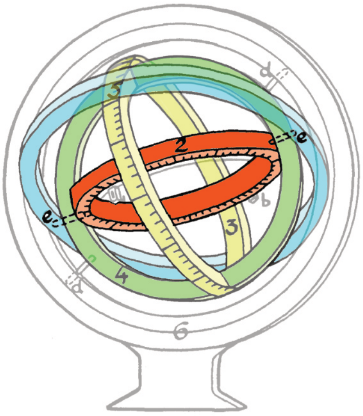
◀ Stap 1

Het maken van 2 precies gelijke ringen die haaks op elkaar worden geplaatst. Ring 3 (lichtgroen/geel) is de ecliptica verdeeld in 360° en ring 4 (groen) is de meridiaan over de polen (e - e). In ring 4 zijn in het midden en loodrecht op de ring van de ecliptica aan beide zijden pengaten geboord (e - e) die de polen van de ecliptica vormen. Ring 3 is overigens niet correct getekend want die steekt uit aan de bovenzijde terwijl deze net als onderaan gelijk moet zijn met de buitenrand van ring 4.

Stap 2 ▶

Daarna werd een ring gemaakt (5, blauw) die zeer precies over de ringen 3 en 4 past en hiermee verbonden werd met de pengaten en pennen e - e. De ringen 3 en 4 tezamen kunnen door deze pennen vrij binnen ring 5 draaien.



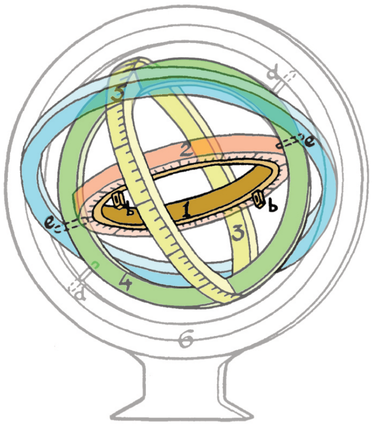


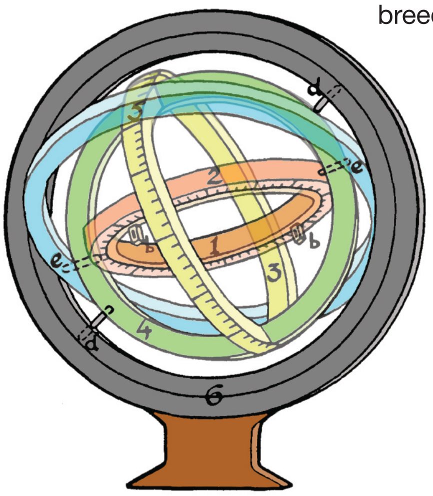
◀ Stap 3

Het maken van ring 2 (rood/roze) die precies past in ring 4 en waarin precies in het midden van ring 2 twee pengaten worden geboord die dienen om ring 2 met de pennen e - e te bevestigen in meridiaanring 4 (groen) waardoor ring 2 vrij in ring 4 rond kan draaien. Ring 2 is voorzien van een verdeling in 360°.

Stap 4 ▶

Nu wordt een dunne ring 1 (lichtbruin) gemaakt waarvan de buitenzijde precies gelijk is aan de binnenzijde van ring 2 (rood/roze). Ring 1 wordt vrij in ring 2 geplaatst en is voorzien van twee kijkgaten (b - b). Ring 1 kan vrij draaien binnen ring 2 om zo de variatie in breedtegraad te observeren.





◀ Stap 5

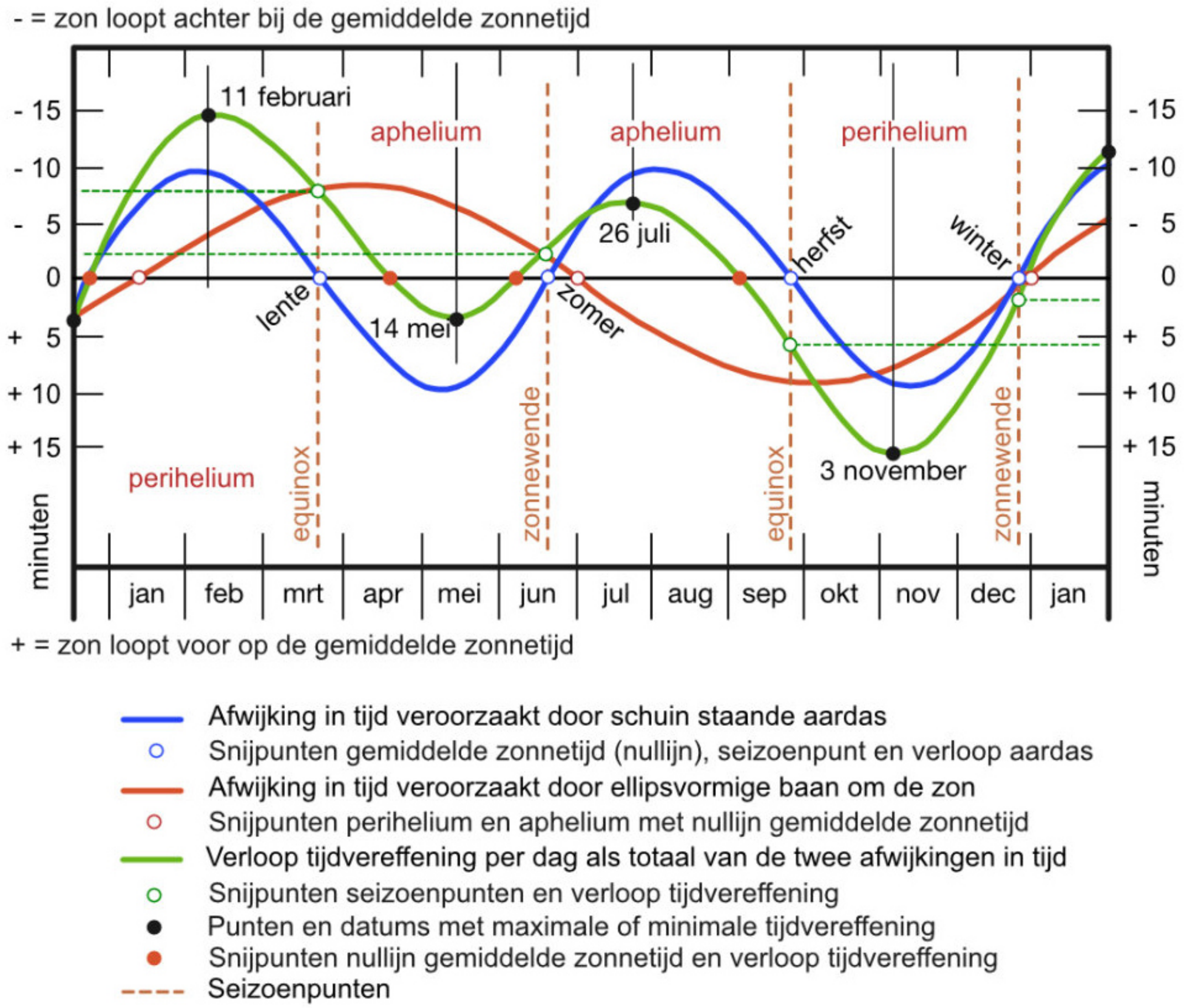
Tenslotte worden 2 buitenringen gemaakt die precies in elkaar passen (6, donkergrijs). De binnenste ring 6 past precies over ring 5 (blauw) en in deze binnenste ring 6 worden precies in het midden en haaks tegenover elkaar twee pengaten geboord en voorzien van lange pennen (d - d). In de meridiaanring 4 (groen) worden ook 2 pengaten geboord onder de hoek tussen de polen van de ecliptica en de evenaar. Het geheel van de ringen 1, 2, 3, 4 en 5 wordt in de binnenste ring 6 geplaatst en vervolgens in de buitenste ring 6 die is voorzien van een voet (donkerbruin).

Afbeelding 3.4 - De gevisualiseerde uitleg in 5 stappen zoals die is beschreven door Ptolemy in Boek V van zijn Almagest (Toomer 1984: 217-219).

3.3 Wisselende duur van een zonnedag

In de oudere literatuur is het aantal datums van relatief betrouwbare waarnemingen van hemellichamen zeer beperkt. De vermelde datums betreffen meestal een van de vier seizoenpunten. Bekend is dat deze waarnemingen in de oudheid allemaal werden gedaan met een zonnewijzer, schaduwstok, zonneschacht of equatoriale ring. Dit betekent dus per definitie dat de locale, werkelijke zonnetijd werd gemeten.

Maar de duur van een zonnedag is echter niet iedere dag hetzelfde. Vandaar dat men later overging naar gemiddelde zonnedagen. Over een jaar gezien is er ten opzichte van een gemiddelde zonnedag een bepaald patroon te zien in het verloop van de ware zonnetijd. Deze afwijkende ware zonnetijd schommelt tussen +/- 15 tot 16 minuten. Het verschil tussen de ware en gemiddelde duur van een zonnedag wordt de tijdvereffening genoemd. In onderstaande grafiek (afbeelding 3.5) is dit patroon en het verloop in duur van de zonnedagen in een jaar weergegeven (Volkssterrenwacht Urania, België, zie https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/hemelmechanica/tijdrekening). Deze afwijkingen in de duur van een zonnedag komen we ook weer tegen in hoofdstuk 4 bij het meten van een zonnejaar op de seizoenpunten.



Afbeelding 3.5 - Grafiek tijdvereffening bewerkt naar het voorbeeld (2019) van de Volkssterrenwacht Urania in België.

Meeus (1998: 186) heeft voor de periode 2000 BCE tot 5000 CE het jaarlijkse patroon van de dagelijkse verschillen in de duur van een zonnedag berekend en weergegeven in een aantal grafieken. Opmerkelijk is dat dit jaarlijkse patroon over die periode vrijwel gelijk blijft.

De oorzaak voor deze verschillen in de duur van een ware zonnedag is tweeledig. De eerste is de baan van de aarde rond de zon die niet cirkelvormig is maar elliptisch. Daardoor draait de aarde gedurende een deel van het jaar iets sneller en het andere deel van het jaar iets langzamer om de zon. Als gevolg daarvan is de ogenschijnlijke beweging van de zon aan de hemel in januari iets sneller dan in juli. Het verschil in duur heeft een relatief vast sinus-vormig verloop (groene lijn afbeelding 3.5). Daarnaast heeft de schuine stand van de aardas ten opzichte van het baanvlak van de aarde tot gevolg dat de projectie van de zon op de hemelevenaar soms voor en soms achter loopt op die van de gemiddelde duur (zwarte horizontale nullijn in afbeelding 3.5). Het totaal van deze twee invloeden vormt het dagelijks verschil in duur tussen de ware dagelijkse zonnetijd en de gemiddelde zonnetijd over een jaar (rode lijn afbeelding 3.5). Dit wordt de tijdvereffening genoemd.

De som van de twee invloeden is nul rond 16 april, 15 juni, 2 september en 25 december (de rode stippen op de nullijn). De totale tijdvereffening is maximaal rond 11 februari (-14 tot -15 minuten) en rond 3 november (+14 tot +16 minuten) (zwarte stippen op groene lijn in afbeelding 3.5).

3.4 Gevolg wisselende duur zonnedag

Opvallend is dat in de literatuur geen aandacht wordt besteed aan deze tijdvereffening terwijl deze de metingen van de Ouden wel moet hebben beïnvloed. Iets wat zij uiteraard niet konden weten. Bij de zomerzonnewende is deze invloed niet zo groot maar bij de lente-equinox valt uit de grafiek van afbeelding 3.5 en de tabellen van bijvoorbeeld Christiaan Huygens (Bruce 2007: 12) en Siegfried Wetzel (2008; http://www.swetzel.ch/sonnenuhren/zgel/zgel.html) af te leiden dat dit 7 tot 8 minuten kan schelen. Huygens geeft bijvoorbeeld voor 21 maart een tijdvereffening van 7 minuten en 45 seconden, Wetzel geeft hiervoor 7 minuten en 12 seconden.

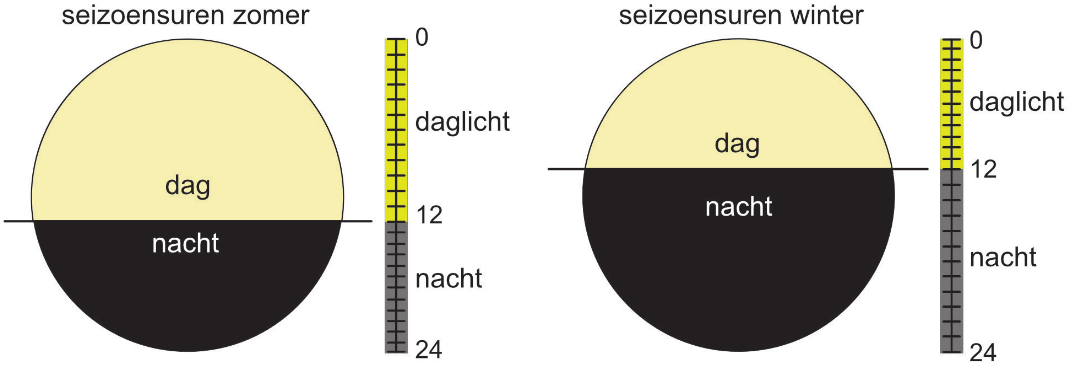
Deze wisselende duur van een zonnedag was in de oudheid niet bekend. Men had eenvoudig niet de instrumenten en geen referentie om een zonnedag zo nauwkeurig te kunnen meten. Vrijwel alle metingen werden uitgevoerd met zonnewijzers of een schaduwstok waarmee de dagelijkse afwijkingen in de duur van een zonnedag niet echt nauwkeurig meetbaar zijn. Vast staat dat ze in ieder geval alleen de ware zonnetijd konden meten. We kunnen er daarom met zekerheid vanuit gaan dat het merendeel van de metingen in de oudheid niet echt betrouwbaar was. Maar in de oudheid werden juist op basis van de equinoxen, met de grootste afwijkingen, verschillende metingen voor een gemiddeld zonnejaar uitgevoerd. Met de uitkomsten hiervan moet daarom met enige terughoudendheid worden omgegaan. In de literatuur worden ze echter zonder enige terughoudendheid gebruikt voor berekeningen, vergelijkingen en conclusies.

3.5 De verdeling van een zonnedag

Naast de zonnedag van 24 uren en ± 57 seconden berekend in westerse standaardtijd en de hiervan afgeleide westerse standaarddag van precies 24 uren, bestaat er geen ander soort dag. De Ouden kenden echter alleen maar de ware zonnedag. Ze hadden geen enkele kennis van onze bekende en netjes afgeronde dagen van 24 uren omdat hiervoor een gelijkmatig lopend uurwerk nodig is en dat hadden ze toen niet. Vrijwel alle metingen van tijd werden uitgevoerd met behulp van eenvoudige instrumenten die volledig waren gebaseerd op natuurlijke zonnetijd. Het was pas sinds 1657 CE, dankzij de uitvinding door Christiaan Huygens van het slingeruurwerk, dat tijd nauwkeuriger kon worden gemeten in uren en minuten. In 1884 werd de middelbare Greenwich-tijd (GMT) ingevoerd en pas in 1928 CE de universele standaardtijd met exact 24 uren en de tijdzones.

De Sumeriërs en Babyloniërs hadden de dag in 12 eenheden van tijd verdeeld waardoor ieder van deze eenheden een duur had die vergelijkbaar was met 2 van onze uren. De Egyptenaren kenden vanaf ca. 2000 BCE een verdeling in 24 eenheden van tijd waarmee de eerste stap was gezet tot de uren zoals we die nu kennen (Neugebauer 1988: 15). Deze 24 dagdelen bestonden uit 12 delen voor de nacht en 12 voor de dag en waren gebaseerd op de verhouding tussen het aantal delen daglicht en aantal delen nacht. De duur van een dagdeel varieerde dan ook afhankelijk van de seizoenen. De joden hadden in de 2e en 1e eeuw BCE een dag verdeeld in 18 dagdelen (Milik 1976: 276, 277; Neugebauer 1981: 11). Maar het waren altijd natuurlijke zonnedagen.

De duur van deze 24 dagdelen werd regelmatig aangepast waardoor de duur van een dagdeel in de loop van een jaar steeds wisselde (afbeelding 3.6). Ze volgden in feite de seizoenen waardoor de 12 uren daglicht in de zomer langer duurden dan de 12 uren daglicht in de winter. Vandaar dat deze 24 delen van een dag 'seizoenuren' worden genoemd. In het dagelijkse leven gebruikten de Grieken dit soort uren ook voor de zonnewijzers (Pederson 2011: hoofdstuk 5 onder 'The Hour of the Day')



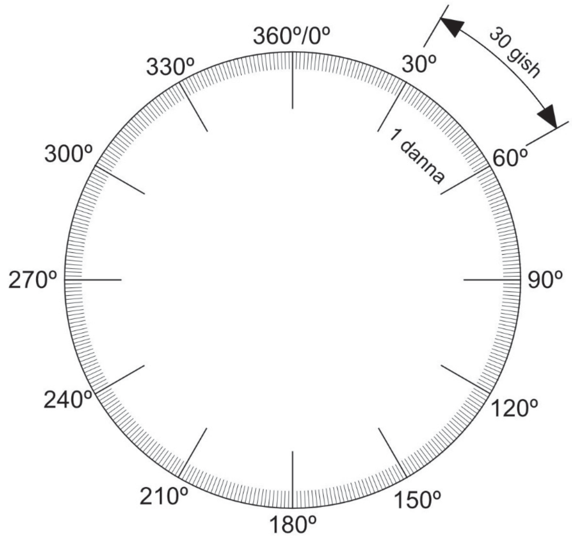
Afbeelding 3.6 - Principe van de eerste grove en ongelijke verdeling van een zonnedag in 24 dagdelen, de zogenoemde seizoenuren, sinds 2000 BCE in gebruik bij de Egyptenaren.

Voor het gebruik van de seizoenuren hadden de oude Babyloniërs, Egyptenaren, Grieken en joden een min of meer vaste verhouding berekend tussen het aantal delen daglicht en het aantal delen nacht. De gangbare verhoudingen waren 2:1 (8u:4u) voor de Babyloniërs, 7:5 (14u:10u) voor de Egyptenaren, 5:3 (15u:9u) voor de Grieken en 2:1 (12u:6u) voor de joden. Dit kon afhankelijk van de locatie nog wel eens afwijken. De delen van het daglicht lagen tussen dageraad en avondschemer, de delen nacht tussen avondschemer en dageraad (Parker 1950: 10; Bowen and Goldstein 1991: 234-238). De verdeling van een zonnedag was dus beslist niet uniform.

De Sumeriërs en Babyloniërs hebben met het sexagesimale (60-tallig) telsysteem dat ze gebruikten een belangrijke stap gezet in het meten van eenheden. Want zij verdeelden als eersten een cirkel in 360° (Thureau-Dangin 1939: 112-114).

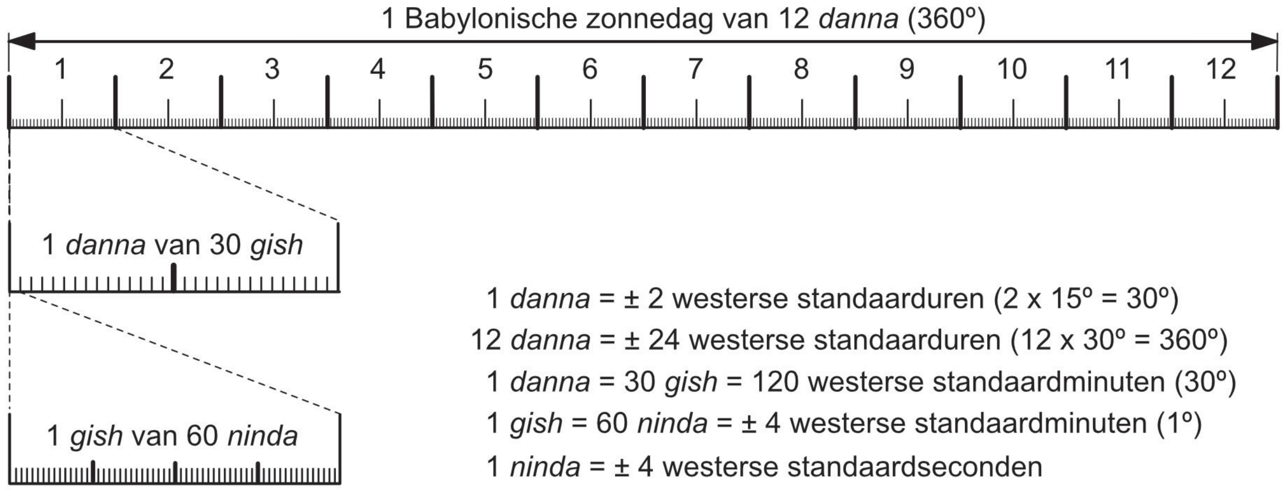
Voor het bepalen en vastleggen van de 12 tekens van de zodiak, ook bekend als de dierenriem, werden deze 360° verder verdeeld in 12 eenheden van 30° (*danna*) en iedere *danna* in 30 *gish* (1 *gish* is hier 1°; zie afbeelding 3.7).

Naast metingen van allerlei hemellichamen gebruikten ze dezelfde systematiek van de booggraden ook voor bijvoorbeeld het meten van afstanden op aarde, voor gewichten, maar ook als lengtemaat van tijd in de vorm van tijdgraden.



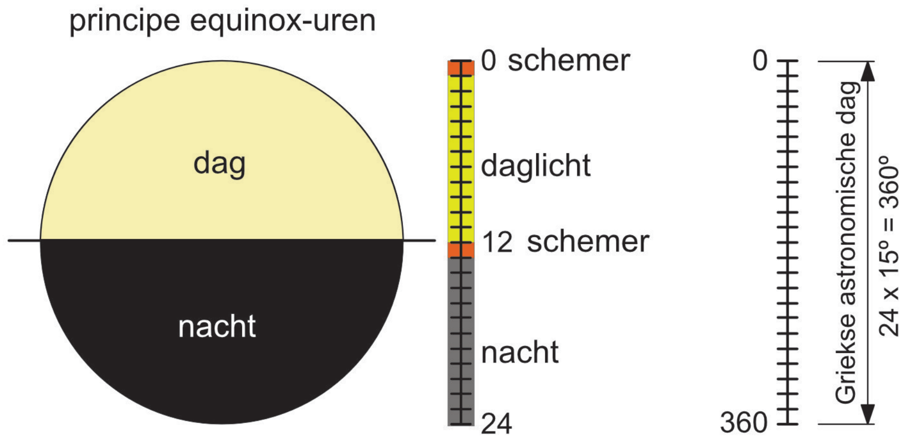
Afbeelding 3.7 - Babylonische verdeling van een cirkel in 360°, 12 danna's en 360 gishes.

Dus de lengte van de dag werd uitgedrukt in 360 tijdgraden. Deze 360° verdeelden ze eveneens in 12 *danna* (1 *danna/beru* is ± 2 van onze uren of 120 minuten) en iedere *danna/beru* in 30 *gish/uš* (1 *gish/uš* is dan 120 ÷ 30 = 4 van onze minuten of 240 seconden) en deze werd verder verdeeld in 60 *ninda* waarbij 1 *ninda* dan 240 ÷ 60 = 4 seconden was. (Thureau-Dangin 1939: 112-114; Huber and Steele 2007: 3; afbeelding 3.8). Dit is een eerste stap geweest op het lange pad naar onze uiteindelijk netjes afgeronde 24 uren.



Afbeelding 3.8 - Verdeling van een zonnedag door de Sumeriërs waarvan de structuur al herkenbare gelijkenissen vertoont met de verdeling van onze westerse klokdag. Uitgewerkt naar Thureau-Dangin 1939: 112-114.

Deze verdeling van een zonnedag in seizoenuren is later door met name de Griekse astronomen omgezet in de zogenoemde equinox-uren waarbij 24 dagdelen ontstonden van gelijke duur (afbeelding 3.9). Dit was gebaseerd op de verdeling van een dag tijdens een equinox waarbij dag en nacht gelijk zijn in uren. Ook werden er 2 dagdelen gebruikt voor de uren van de schemering. De Griekse astronomen gebruikten deze equinox-uren uitsluitend voor astronomische doeleinden en deelden de 360º door 24 waardoor de uren een duur kregen van 15º (tijdgraden). Verder bleven de Grieken voor het dagelijks gebruik de seizoenuren toepassen voor bijvoorbeeld de zonnewijzers en noemden deze ”de delen van het jaar” (Goldstein and Bowen 1989: 275)



Afbeelding 3.9 - Principe van de fijnere en gelijkmatige verdeling van een astronomische zonnedag in 24 vaste en vrijwel gelijke dagdelen, de zogenoemde equinox-uren, in gebruik bij de oude Grieken.

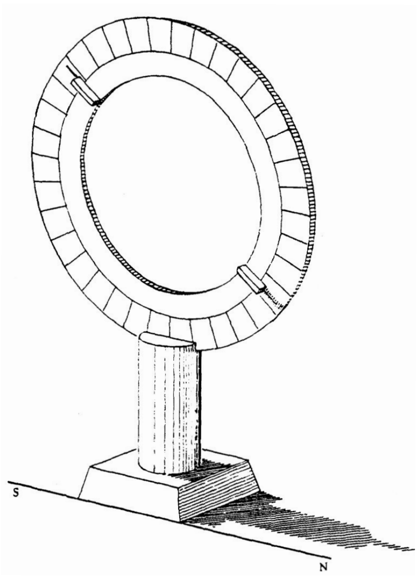
Voor het aflezen van de seizoenuren werden naast zonnewijzers ook schaduwklokken (gnomon), waterklokken (Canhâo 2013: 287, 289; Ratzon 2019), zandlopers (Hannah 2009: hoofdstuk 5) en later zelfs streepjes op brandende kaarsen gebruikt. Instrumenten waarmee je niet echt het verschil van ongeveer 57 seconden tussen een gemiddelde natuurlijke zonnedag en een gemiddelde westerse standaarddag van precies 24 uren kunt meten.

Deze kennis van de Grieken werd uitgewisseld met en overgenomen door Arabische astronomen en is door Latijnse vertalingen van de Arabische literatuur later via de Moorse inval in en bezetting van Spanje ook in Europa terechtgekomen (Gandz 1952: 15).

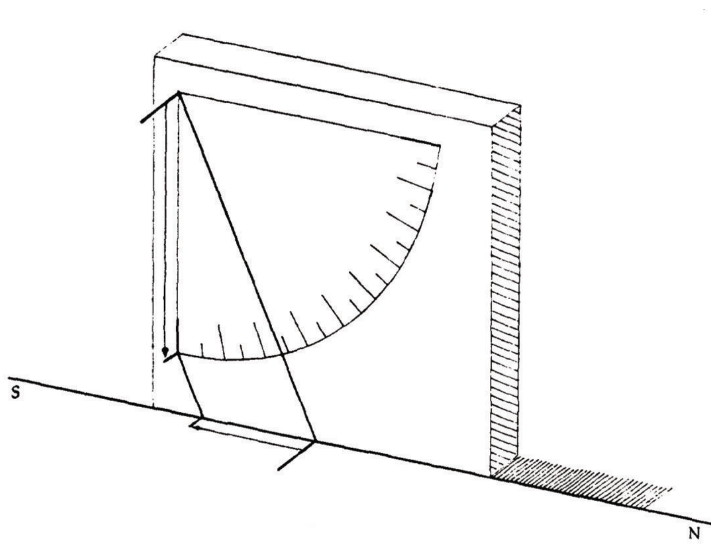
Overigens schrijft Ptolemy zelf over het gebruik van uren dat de tijd in uren als gevolg van de berekeningen zal worden uitgedrukt in gemiddelde zonnedagen, omdat de tijd uitgedrukt in seizoenuren hiermee niet altijd gelijk is maar gebaseerd op ongelijke ware zonnedagen (Toomer 1984: 281 H473). Hij bevestigt hiermee dat tijd wel degelijk in zonnedagen werd gemeten .

Ook het begrip ‘uur’ is afkomstig van de Grieken. Rond 300 BCE gebruikten zij het woord ‘*horlogy*’, afkomstig van *hora* (tijd), voor de studie van tijd. Hiervan afgeleid was het oude Griekse woord ‘*horologium*’, een instrument voor het tellen van uren (Karlheinz Schaldach 2017: 63), ons latere horloge. De naam ‘minuut’ komt uit het Latijn, waar de indeling van het uur in minuten als “*pars minuta prima*” werd aangeduid, hetgeen betekent: eerste kleine deel. Ook de term seconde, voluit “*pars minuta seconda*”, stamt uit deze systematiek met een betekenis van volgende of tweede kleine deel.

In de loop der tijd werd het meten van de duur van zonnedagen en zonnejaren door de Grieken verder verbeterd. Ptolemy vermeldt (Toomer 1984: 61-63) op welke wijze in zijn tijd (150 CE) instrumenten werden gemaakt voor het bepalen van de zonnewendes en equinoxen, zoals de equatoriale ring. Hij beschrijft ook de manier waarop ze werden gebruikt. Bovendien geeft hij twee getekende voorbeelden van hoe deze instrumenten eruit zagen (afbeeldingen 3.10 en 3.11). Het is duidelijk dat hiermee geen nauwkeurige tijdsduur of tijdstip kan worden bepaald.



Afbeelding 3.10 - Eenvoudige uitvoering van een meridiaanring uit de Almagest van Ptolemy (Toomer 1984: 61, 62).



Afbeelding 3.11 - Alternatieve uitvoering van een meridiaan meetinstrument uit de Almagest van Ptolemy (Toomer 1984: 62, 63).

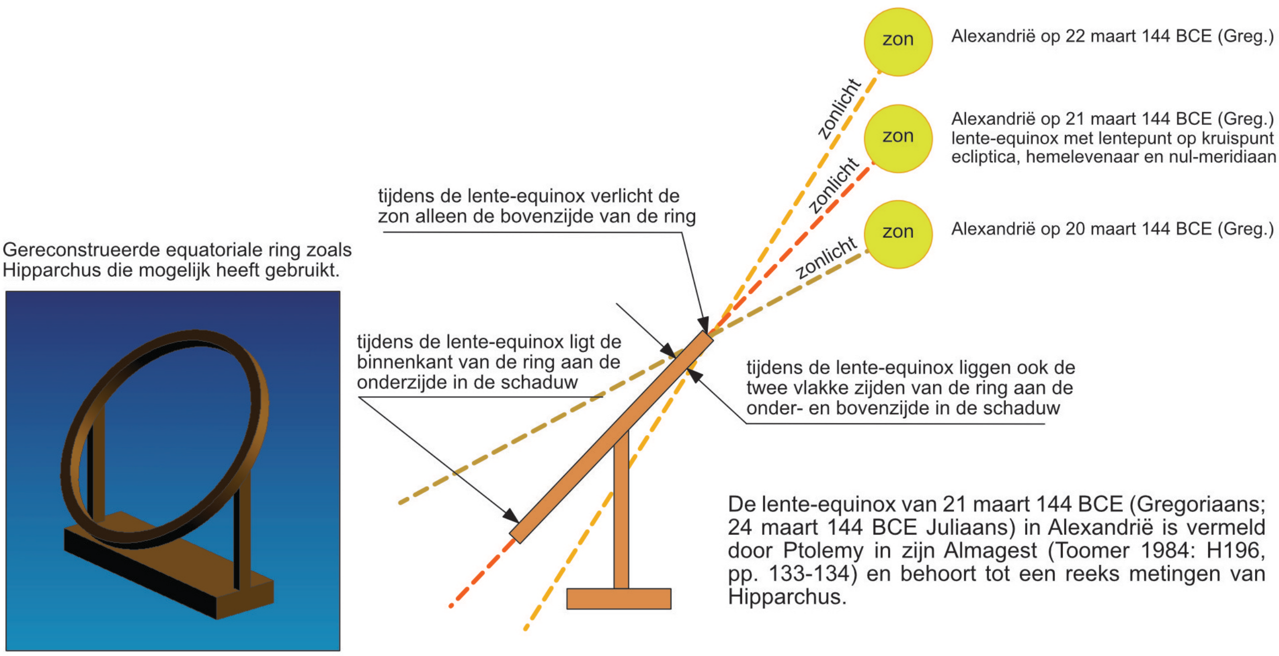
3.6 De equatoriale ring

De door de Grieken gebruikte zogenoemde equatoriale ring is een astronomisch instrument dat in de hellenistische wereld werd gebruikt om het precieze moment van de lente- en herfst equinox te bepalen. Equatoriale ringen werden geplaatst voor bijvoorbeeld tempels, zoals in Alexandrië of op Rhodos en werden alleen wetenschappelijk gebruikt voor kalenderdoeleinden, vaak in combinatie met een zonnewijzer. Een heel mooi voorbeeld is de equatoriale zonnewijzer in de haven van Parma (afbeelding 3.12). Hipparchus (2e eeuw BCE) gebruikte echter een veel eenvoudiger model waarvan een voorbeeld is gereconstrueerd zoals te zien in afbeelding 3.13.



Afbeelding 3.12 - Moderne versie van een equatoriale zonnewijzer in de haven van Parma.

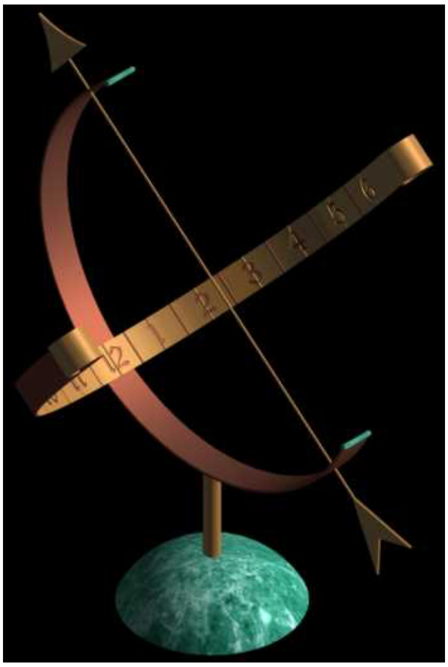
De eenvoudigste manier om het gebruik van een equatoriale ring te begrijpen, is een ring voor te stellen die verticaal in het oost-westvlak op de evenaar van de aarde is geplaatst. Op het moment van de equinoxen zal de zon precies in het oosten opkomen, zich over het hoogste punt verplaatsen en precies in het westen ondergaan. Gedurende de dag zal de onderste helft van de ring in de schaduw liggen die wordt veroorzaakt door de bovenste helft van de ring (rode stippellijn in afbeelding 3.13). Op andere dagen van het jaar gaat de zon naar het noorden of zuiden van de ring en verlicht de onderste helft. De ring en de voet van de ring waren voorzien van een verdeling in gelijke afstanden die ongeveer met uren overeenkwamen (zie afbeelding 3.14).

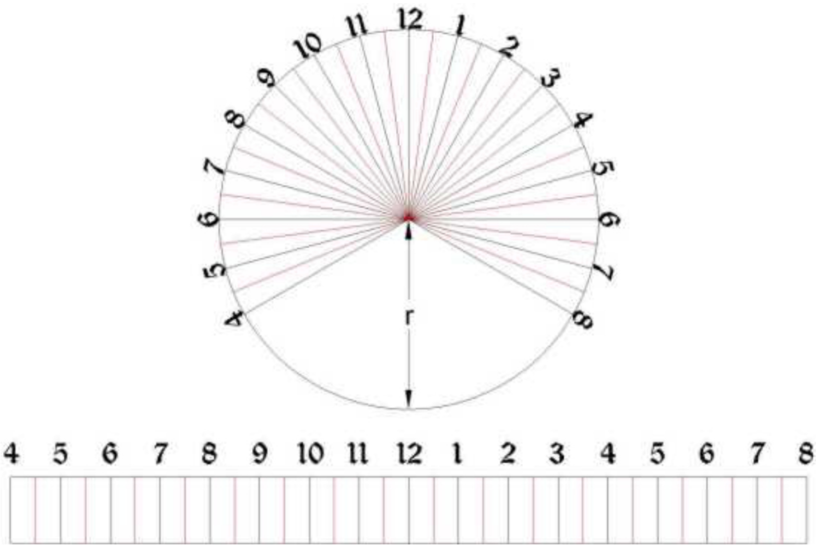


Afbeelding 3.13 - Gereconstrueerd model van een equatoriale ring uit de tijd van Hipparchus (ca. 2e eeuw BCE) en de vermoedelijke werking ervan.

De equatoriale ring had een diameter van ongeveer één tot twee el (45 cm - 90 cm). Omdat de zon geen puntbron van licht is, is de breedte van de schaduw op de onderste helft van de ring iets minder dan de breedte van de ring. Door te wachten tot de schaduw op de binnenzijde van de ring was gecentreerd, kon de tijd van de equinox op ongeveer een uur worden afgelezen.

Het grootste nadeel van de equatoriale ring was dat deze zeer nauwkeurig moest worden uitgelijnd omdat er anders valse metingen konden optreden. Ptolemy vermeldt in de Almagest dat een van de equatoriale ringen die in Alexandrië wordt gebruikt, enigszins verschoven was, wat betekende dat het instrument de equinox twee keer op dezelfde dag liet zien. Valse metingen worden ook veroorzaakt door atmosferische breking van de zon wanneer deze zich dicht bij de horizon bevindt.





Afbeelding 3.14 - Schaalverdeling van de dagelijkse uren op de ring en voet van een oude equatoriale zonnewijzer (foto links).

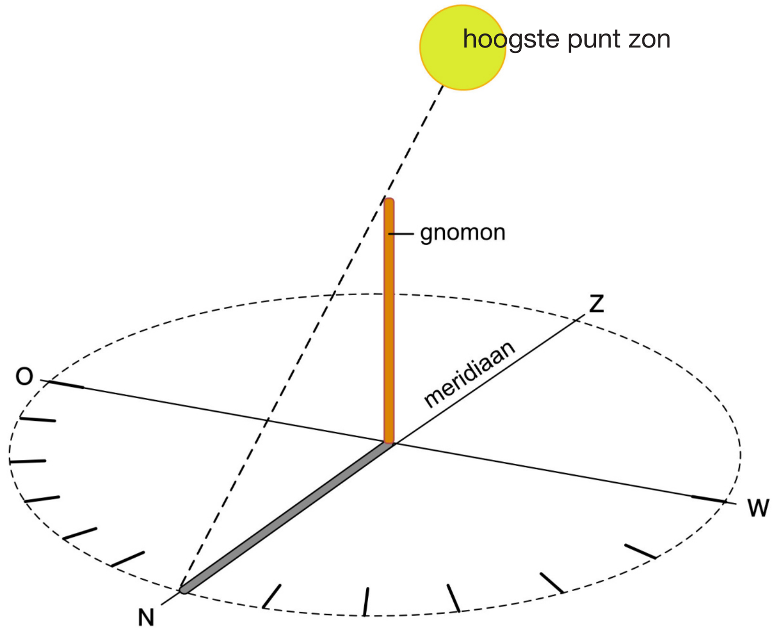
Het is in de tekst van de Griekse astronoom Geminus van Rhodos in de 1e eeuw BCE, waar we de eerste vermelding van equinox-uren tegenkomen (Karlheinz Schalbach 2017: 64). Dit concept werd door de oude Grieken in deze betekenis overgenomen in hun telling van tijd. Maar uiteraard wel nog steeds met de zonnedagen als basis. En ook de oude Grieken bleven nog lange tijd werken met, weliswaar verbeterde, zonnewijzers en equatoriale ringen waarmee in die tijd per definitie alleen de natuurlijke zonnetijd kon worden gemeten.

3.7 Methode van bepalen meridiaan

De equatoriale ring moest goed zijn uitgelijnd op de meridiaan om de juiste altitude van de zon te kunnen meten. Ptolemy beschrijft wat de meest gebruikte methode was voor het bepalen van de noord-zuid meridiaan cirkel om de altitude van de zon te kunnen meten. Hiervoor werd de gnomon gebruikt, een verticaal geplaatste paal op een vlakke ondergrond waarmee de lengte van de schaduw van de paal werd gemeten (afbeelding 3.15). Zodra de paal en z’n schaduw in 1 lijn staan met de zon is het hoogste punt van de zon en tevens het midden van de dag bereikt. Deze meting werd weergegeven in breuken waarbij de noemer de lengte van de gnomon was en de teller de lengte van de schaduw van de paal (Eduardo Vila Echagüe 2018).

3.8 De transformatie van zonnedag naar standaarddag

Het heeft overigens lang geduurd voordat een klok werd uitgevonden die uiteindelijk vrij nauwkeurig uren, minuten en seconden als hele getallen in middelbare tijd kon meten. Het is deze vinding geweest die de weg vrij maakte voor het uiteindelijke ontstaan van onze huidige tijdmeting.



Afbeelding 3.15 - Door Ptolemy beschreven methode om met behulp van een gnomon de meridiaan te bepalen.

Binnen Europa werden in de 6e eeuw CE de eerste stappen gezet die hebben geleid tot de uiteindelijke transformatie van natuurlijk zonnedagen naar hele afgeronde standaarddagen. Het is in deze periode dat in de literatuur de eerste aanwijzingen verschijnen die wijzen op het eerste gebruik van ‘uren’ op de weg naar een gelijkmatig werkend mechanisch meetinstrument van tijd.

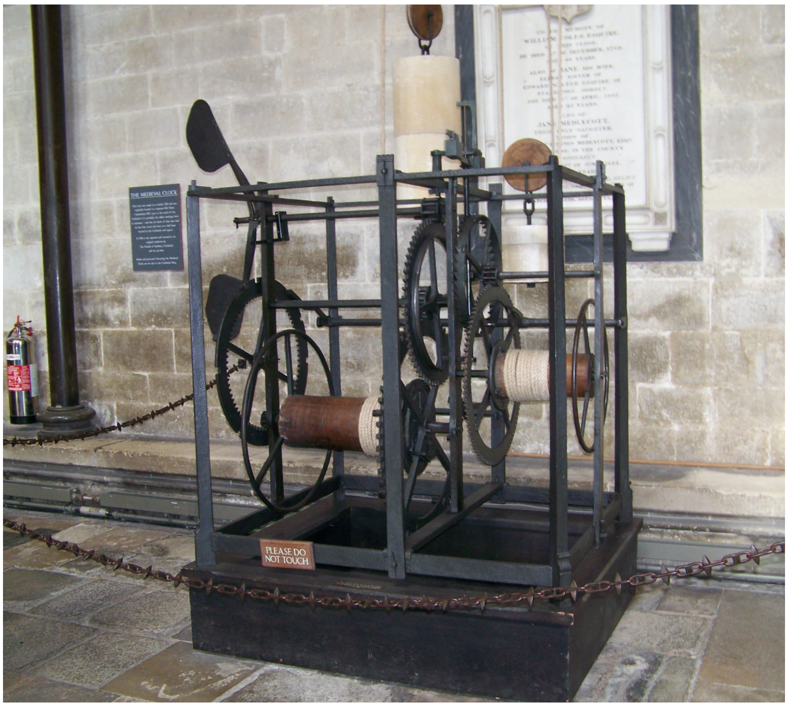
De Italiaanse abt Benedict of Nursia schreef in 540 CE de ‘Regels van de Orde’ en een tabel met uren (Borst 1993: 26, 27). Zijn voornaamste doel was om de monniken op de juiste tijdstippen te laten bidden en werken en dus maakte hij een werkschema in uren. Hij koos hiervoor drie sleutelmomenten met als voorbeeld het wisselen van de wacht in het leger. Dit gebeurde bij het 3e uur van de ochtend (tertia hora), het 6e uur van de middag (*sexta hora*) en het 9e uur van middag (*nona hora*). Aanvullend koos hij de vier kerkelijke uren die bestonden uit zonsopkomst (*prima hora*), zonsondergang (*vespera*), de dageraad hemel (*matutina*) en tot slot het begin van de volledige duisternis na zonsondergang (*completorium*). Iedere dag van de week moesten de monniken op deze 7 momenten hun psalmen opzeggen. Ditzelfde deed hij voor de uren van waken, eten, werken en rusten en verdeelde ze, met inachtneming van de seizoenen van het zonnejaar, over de dag. Verder zorgde hij ervoor dat iedere monnik in staat was om de zonnewijzer (overdag) en de waterklok (nacht en overdag wanneer de zon niet scheen) goed af te kunnen lezen.

Gregory of Tours (Georgius Florentius, 538-594 CE) was een Gallisch-Romeinse historicus en tevens bisschop van Tours (Borst 1993: 30-32). Zijn meest opmerkelijke werk was de ‘Tien Boeken van de Geschiedenis’ (*Decem Libri Historiarum*), beter bekend als de ‘*Historia Francorum*’ (History of the Franks). Het was Gregory die gebruik ging maken van een combinatie van seizoenuren overdag en equinox-uren in de nacht. De variabele seizoenuren waren de 12 uren overdag volgens de zonnewijzer. De duur van deze ‘uren’ was uiteraard afhankelijk van het moment van het jaar. In de zomer waren de uren gemiddeld langer dan in de winter. De equinox-uren, die de dag en nacht tezamen verdeelden in 24 gelijke delen, waren gebaseerd op de verdeling van de ‘uren’ tijdens de 2 dagen van de equinox waarop alle 24 dagdelen gelijk zijn. Maar tijdens de nacht is er geen zon en zijn dus de dagdelen niet waarneembaar. En de monniken bleken de waterklok niet goed af te kunnen lezen. Gregory ging daarom de sterrenhemel gebruiken en bestudeerde de heliacale opkomst en ondergang van bekende sterrenstelsels. Hij zette deze nachtelijke uren om in seizoenuren en berekende hoeveel psalmen in ieder van de uren ging. Door de psalmen te tellen wisten de monniken welk ‘uur’ van de nacht het was.

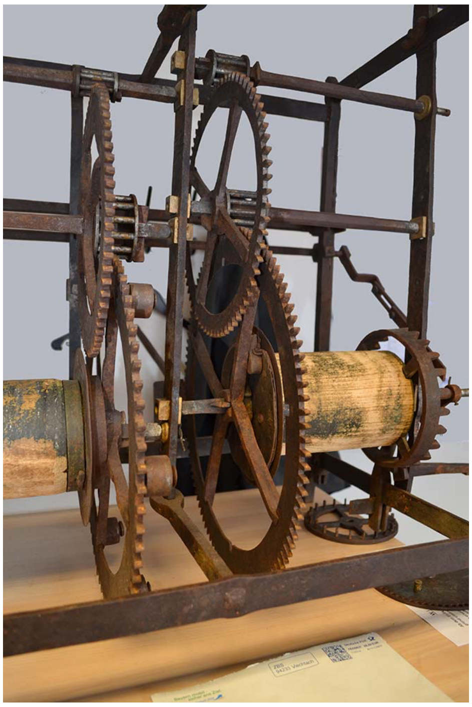
Een andere vermelding op weg naar de moderne klok komt van de Angelsaksische monnik Bede de Venerabilis (de Eerbiedwaardige) die leefde tussen ongeveer 672-735 CE in het noordoosten van het oude Engeland. Hij was in zijn tijd een autoriteit op het gebied van allerlei wetenschappen waaronder astronomie. Bede vermeldt in zijn '*De temporum ratione*' dat het uur was verdeeld in 4 *puncti* (4 x 15 minuten), of 10 *minuta* (10 x 6 minuten), of 15 partes (15 x 4 minuten), of 40 *momenta* (40 x 1,5 minuten) (Dohrn-van Rossum 1996: 41, 42). Voor het meten van deze eenheden van tijd werden vrijwel uitsluitend zonnewijzers en zandlopers gebruikt. Volgens Bede was 1 *punctum* (15 minuten) de kleinste eenheid die kon worden gemeten met een zonnewijzer.

Het was in de periode tussen de 8e en 14e eeuw CE, toen Spanje onder Moors bewind stond, dat de Arabische astronomie z'n intrede deed in Europa met het systeem van de uren en minuten (Dohrn-van Rossum 1996: 42). Spanje fungeerde als een cultureel doorgeefluik voor de Europese wetenschappers van de Arabische literatuur en kennis.

Tussen de 14e en 16e eeuw CE werd de eerste vorm van een mechanische klok uitgevonden (Nelson et al. 2001: 510). Vanaf de 14e eeuw CE kwamen kerkklokken in gebruik als zogenaamde 'publieke klokken'. Deze waren vooral bedoeld voor de geestelijken om met de vereiste regelmaat en op het juiste tijdstip te kunnen bidden. Dit waren vrij grove mechanische uurwerken die werden aangedreven door grote tandraderen en gewichten met een verdeling van in het begin 16, zoals in de torenklok van St. Sebald, Neurenberg in Duitsland (Borst 1993: 93, 94), en later 24 uren, toen nog ongeveer 24 gelijke delen van een zonnedag. Een uniform uur bestond in die tijd namelijk nog niet. Er waren klokken waarbij een bel of klok werd geluid met behulp van het klokmechanisme (Dohrn-van Rossum 1996: 106, 107, 129-133). Twee van de oudste uurwerken uit deze tijd die bewaard zijn gebleven staan in de kathedraal in Salisbury in Engeland (afbeelding 3.16) die dateert uit 1386 CE en in Forchtenberg in Duitsland (afbeelding 3.17) waarbij het bouwjaar 1463 is vermeld.



Afbeelding 3.16 - Klok in Salisbury kathedraal uit 1386 (Engeland).



Afbeelding 3.17 - Torenklok uit 1463 in Forchtenberg (Duitsland).

De Duitser Peter Henlein ontwierp rond 1511 CE het eerste mechanische uurwerk dat werd aangedreven door een veermechanisme. Hij wordt daarom wel als de vader van de uitvinding van de latere mechanische klokken gezien.

Het slingeruurwerk werd in het jaar 1656 uitgevonden door Christiaan Huygens en dit was de eerste relatief nauwkeurige en gelijkmatig lopende mechanische klok die tot op de minuut en seconde de juiste tijd aangaf. Vanaf dat moment begon het proces op weg naar de op hele getallen afgeronde uren en minuten en na verloop van tijd ook de seconden en de eerste kunstmatige aanduiding van tijd zoals we die nu kennen. Een dag kon vanaf dan worden gemeten als een heel getal zonder fracties. De moderne tijdmeting had z'n intrede gedaan. Maar wel nog steeds op basis van de ware zonnedag omdat er toen nog geen definitie bestond van onze huidige afgeronde westerse dag.

In de loop van de 18e eeuw slaagden Franse en Engelse klokkenmakers er in om precisie klokken te maken die niet alleen de seconden aangaven maar ook de tijd tot op de seconde nauwkeurig bijhielden (Borst 1993: 113). Deze werden 'timekeepers' of 'chronometers' genoemd. Dit luidde een nieuw tijdperk van nauwkeurige tijdrekening in, door de Duitsers 'Zeitrechnung' genoemd.

De Duitse pastor, astronoom en uitvinder Philipp Matthäus Hahn vond in ongeveer 1763 CE een nauwkeurige zonnewijzer uit, de heliochronometer (zie afbeelding 3.18). Dit was een relatief precieze zonnewijzer waarmee tot op een minuut nauwkeurig de zonnetijd kon worden afgelezen. Maar seconden konden hiermee niet worden gemeten. In de loop van de 20e eeuw raakte uiteindelijk ook dit instrument in onbruik toen het tijdsignaal vanuit een sterrenwacht via de telegraaf over het land werd verspreid. Vooral de spoorwegen hebben een flink aandeel gehad in het proces tot een landelijk uniform werkend tijdsysteem zodat aankomst- en vertrektijden van treinen beter op elkaar aansloten. Ook de radiozenders over de wereld hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de uniformering van tijd. Op de hele uren zonden ze tot in de jaren 60 van de vorige eeuw de bij de ouderen onder ons bekende piepjes uit waarna de luisteraars hun klokken hierop gelijk konden zetten.



Afbeelding 3.18 - Voorbeeld van een Pilkington-Gibbs heliochronometer uit de 19e eeuw.

3.9 De doorbraak naar middelbare tijd

De tot dan toe gebruikte zonnewijzers verdwenen geleidelijk uit het dagelijkse leven. Maar de kerktorens met hun klokken bleven nog lang de tijd aangeven en werden regelmatig gecorrigeerd op basis van metingen met zonnewijzers. Dit ging nog door tot begin 20e eeuw waarna de radiozenders over de wereld met hun piepjes voor de hele uren deze taak overnamen.

De echte doorbraak op weg naar de moderne tijdmeting was echter de invoering in de 19e eeuw van de zogenoemde middelbare tijd, ook wel de tijdvereffening genoemd. Zowel Ptolemy (150 CE) als Christiaan Huygens (1673 CE) hadden dit verschijnsel al eerder benoemd.

Bij de middelbare tijd wordt de dagelijkse zeer wisselende zonnetijd op astronomische en mathematische basis omgezet in een gemiddelde, keurig afgeronde, duur van een dag die is vastgesteld op precies 24 uren van ieder 60 minuten en waarvan iedere minuut 60 seconden telt.

Inmiddels zijn we al zover dat voor het synchroniseren van onze klokken de trilling van het cesium atoom wordt gebruikt. De frequentie van de trillingen van dit atoom is zodanig constant en onafhankelijk van de omgeving, dat de afwijking van een atoomklok slechts ongeveer 1 seconde per 5 miljard jaar bedraagt. Aan de hand van dit element is de seconde gedefinieerd.

De eerste atoomklok op basis van cesium werd in 1955 ontwikkeld door de Britse natuurkundige Louis Essen van het National Physical Laboratory in Teddington (nabij Londen) en betekende het einde van het gebruik van de astronomische tijd als internationale tijdschaal.

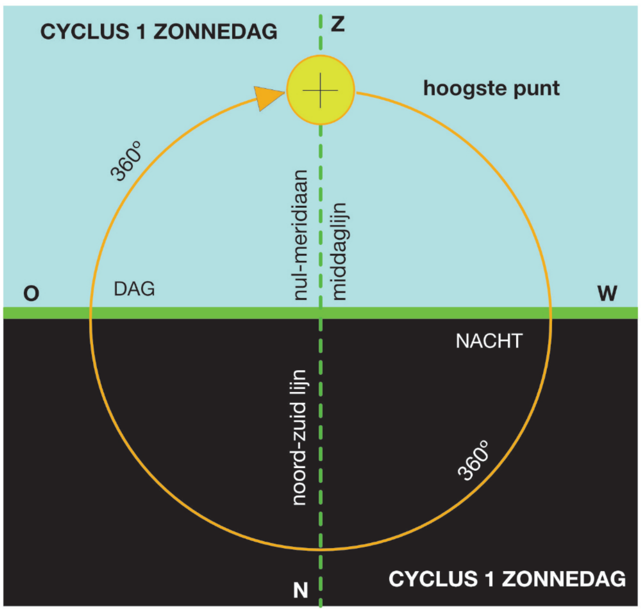
3.10 Internationale standaardeenheid van tijd

In 1956 werd de seconde gedefinieerd als 1⁄31.556.925,9747 deel van het tropisch jaar op basis van epoche 1 januari 1900 CE om 12 uren ephemeris tijd. Deze definitie werd in 1960 opgenomen als onderdeel van het International System of Units (SI). In 1967 werd deze definitie tijdens de 13e General Conference on Weights and Measures (CGPM, 1967/68, Resolution 1; CR, 103 and Metrologia, 1968, 4, 43) vervangen door een nieuwe definitie van de seconde die bepaald dat de duur van een seconde voortaan 9.192.631.770 perioden van straling is die overeenkomt met de overgang tussen de twee hyperfijne niveau's van de grondtoestand van het caesium 133 atoom bij een temperatuur van 0° K. Hiermee werd de historische stap gezet om na vele duizenden jaren zonnetijd over te stappen naar het caesium 133 atoom als nieuwe en uiterst precieze en constante meting van tijd. Maar desondanks blijft het zonnejaar met z'n 365 zonnedagen de echte maat van tijd vanwege de wens van de mens om in de pas te willen blijven lopen met de natuurlijke seizoenen.

In het nu volgende hoofdstuk 4 wordt daarom eerst het natuurlijke zonnejaar besproken omdat dit ondanks alle technische snufjes van de meting van tijd altijd de maat van tijd is gebleven en als zodanig ook werd en wordt gebruikt voor andere systemen van tijdrekening. Dit geldt ook voor de maan-zon-kalenders die in hoofdstuk 5 worden besproken. De enige uitzondering hierop is de islamitische maankalender.

3.11 Definitie van een ware zonnedag

Christiaan Huygens vermeldde al in de 17e eeuw dat de duur van een zonnedag de periode is tussen twee opeenvolgende hoogste standen van de zon (Aarts 2015: 30). Hij voegde eraan toe dat niet alle zonnedagen onderling gelijk zijn en geeft een tabel met 'equaties' (tijdvereffening) waarin de onderlinge verschillen in duur zijn vermeld. De gemiddelde zonnedag over een jaar van 365 zonnedagen duurt dan 24 uren.



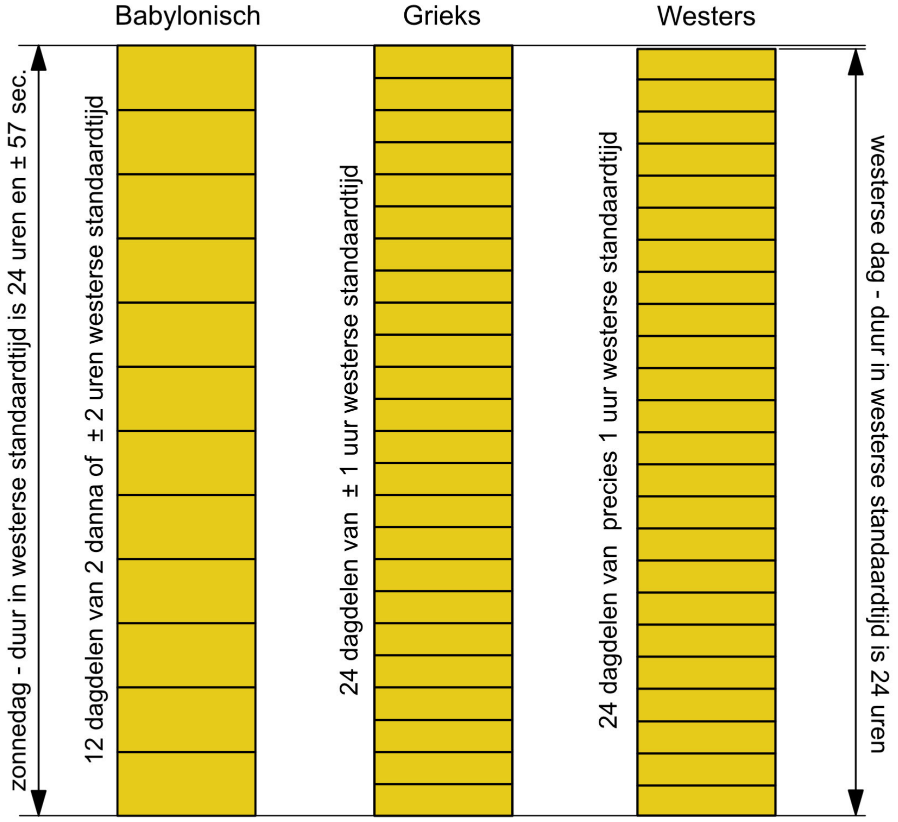
Ook volgens de huidige standaard wordt de gemiddelde natuurlijke zonnedag gemeten als de duur tussen twee opeenvolgende passages over 360° van de zon op een bepaalde meridiaan (lengtegraad) zoals bijvoorbeeld de nulmeridiaan of middaglijn (Neugebauer 1929: 138; Nelson et al. 2001: 510; González 2014: 1). En dit is per definitie ook de hoogste stand van de zon. In afbeelding 3.19 is dit gevisualiseerd.

Afbeelding 3.19 - Dagelijkse ogenschijnlijke omloop van de zon in 360° van het hoogste punt op een meridiaan naar hetzelfde hoogste punt op dezelfde meridiaan de dag erna.

3.12 De twee gezichten van de dag

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat de dag in de geschiedenis twee verschillende gezichten kon hebben. Het oudste is het natuurlijke gezicht en het moderne het kunstmatige gezicht. In de tijd gezien is het verschil in duur tussen beiden ogenschijnlijk zeer gering, slechts ongeveer 57 seconden of 0,0006635315 dag (afbeelding 3.20). Maar wanneer dit geringe verschil 365 keer in een jaar optreedt dan loopt dit op tot 365 x 0,0006635315 = 0,242189 dag en dat is 5 uren, 48 minuten en 45,13 seconden. Anders gezegd is dit het verschil tussen de duur van een zonnejaar en een westers kalenderjaar wanneer beiden worden berekend volgens het westerse systeem van tijdrekening. En dit verschil in de duur van een gemiddelde natuurlijke zonnedag en een kunstmatige westerse standaarddag wordt onweerlegbaar bewezen in de Gregoriaanse of Westerse kalender en tijdrekening.

Het maakte ook heel veel uit op welk moment in het jaar de Ouden de duur van een dag bepaalden en deze als de gemiddelde duur van een dag voor een jaar gingen gebruiken. Langs deze weg is het dus ook mogelijk om tot een duur van een zonnejaar van 365,25 dagen te komen.



Afbeelding 3.20 - De geleidelijke verandering in de loop van de tijd van de begrippen ‘dag’ en ‘uur’.

Duidelijk is dat een dag van de Ouden in geen geval dezelfde tijdsduur had als een dag volgens onze huidige westerse tijdrekening. En hoewel zowel de Ouden als wij dit een dag noem(d)en hebben we het wat betreft de duur ervan weliswaar over twee dezelfde eenheden maar met een verschillende duur. Een verschil dat door velen over het hoofd wordt gezien en wat we later weer terug zullen zien bij de bespreking van de werking van de westerse tijdrekening in hoofdstuk 9. Want het is tenslotte de 365 x ± 57 seconden verschil per dag wat leidde tot de bekende 5 uren, 48 minuten en 45 seconden (epoche 2000.0 CE) waarover meer in hoofdstuk 4.

Het niet onderkennen van het verschil in duur van een dag in het verre verleden en de hedendaagse dag leidde tot de aanname dat beiden van gelijke duur zouden zijn. Maar niets is minder waar wat tot allerlei misvattingen leidde, zoals zal blijken.

4 Het zonnejaar

De zon is letterlijk en figuurlijk de spil waar alles om draait in het leven. Bij het bestuderen van het zonnejaar, zoals dit bijvoorbeeld bij de oude Mexicanen en Egyptenaren als basis werd gebruikt voor hun systeem van tijdrekening, mogen we onze huidige kennis natuurlijk niet spiegelen aan de kennis zoals die duizenden jaren geleden voor het begin van onze jaartelling aanwezig was. We moeten proberen ons te verplaatsen naar de tijd en omstandigheden waarin de Ouden de zon beleefden. Voor hen was de zon overdag vaak zeer dominant aanwezig. Enerzijds als weldadige bron van licht en warmte die de gewassen liet groeien waardoor planten tot wasdom konden komen en granen en vruchten geoogst konden worden, en anderzijds als vernietigende kracht die bij een tekort aan regen complete oogsten door de verzengende hitte kon vernietigen. Het is de logica zelf dat toen het eerste schrift en telsysteem tot ontwikkeling kwamen, ervaringen konden worden opgeschreven en zonsopkomsten worden geteld. Er ontstond vanzelf de onweerstaanbare drang om meer te weten te komen over dit machtige en dominante hemelse fenomeen.

Het ligt dan ook zeer voor de hand dat, nadat de eerste agrarische nederzettingen zich permanent hadden gevestigd, mensen steeds meer aandacht kregen voor hun natuurlijke leefomgeving en de bijbehorende natuurkrachten, meestal verpersoonlijkt in de gedaante van allerlei godheden. De aanwezigheid van de door de zon gedicteerde seizoenen kenden ze vanuit hun eigen dagelijkse beleving als geen ander, ze waren tenslotte opgegroeid in en met de natuur. Bovendien wisten ze uit eigen ondervinding maar al te goed wanneer ze aan de hand van de seizoenen hun gewassen moesten zaaien, wieden en oogsten. Deze boeren uit de oudheid hadden echt geen kalenders nodig voor het op tijd uitvoeren van hun dagelijkse werk hoewel sommige auteurs anders beweren. Bovendien konden gewone burgers niet eens lezen of schrijven, dit was voorbehouden aan de elite en priesters. Dus zelfs al kreeg een boer ooit een kalender te zien dan zou hij niet eens weten wat dat voor moest stellen. Veel logischer is het omgekeerde. De boeren kenden dankzij hun praktische ervaring het ritme van de seizoenen wat uiteindelijk de basis werd voor een seizoenenkalender.

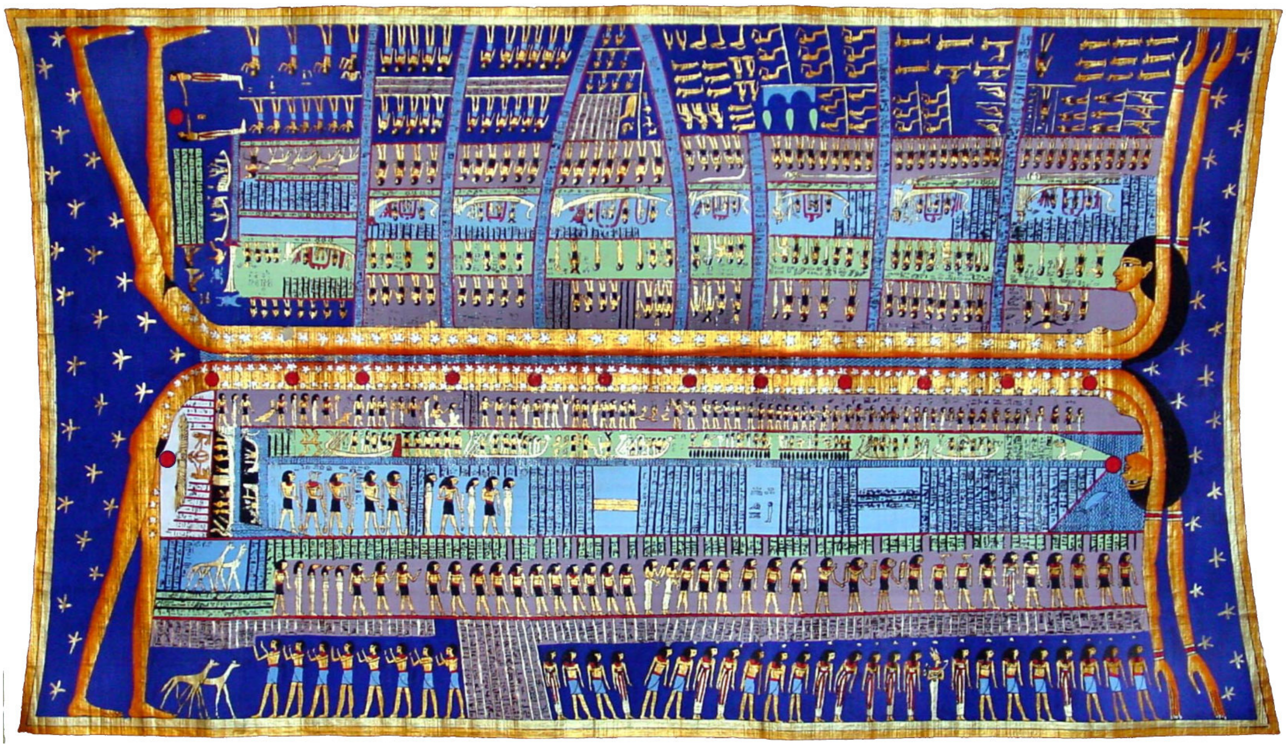
4.1 De zonnewendes

Het kan niet anders dan dat de Ouden al in een pril begin van de mensheid het verband kenden tussen de seizoenen van een jaar en de plaats van de zon aan de hemel. En wellicht zonder dat ze daar woorden voor hadden moeten ze al snel hebben begrepen dat de zon in een jaarlijks ritme langs de horizon reist van het ene punt naar het andere punt en weer terug. De twee keerpunten van de zon, wat wij nu de zonnewendes of keerpunten van de zon noemen, waren voor de Ouden ook letterlijke keerpunten in hun bestaan. Ze waren het symbool voor het verschil tussen nieuw leven en voldoende voedsel enerzijds en het gebrek aan voedsel, vele ontberingen en een mogelijke dood anderzijds. Het is dan ook niet zo vreemd dat vele goden en godinnen als vertegenwoordigers van deze twee uitersten ontstonden en in hoge mate werden vereerd en vooral gevreesd.

Het zijn ook deze twee keerpunten of zonnewendes, die de bron zijn geweest van het ontstaan van tijdrekeningen en kalenders. Want zonder deze twee keerpunten is er geen beginpunt en geen eindpunt voor een telling. En die heb je toch echt nodig om de duur van een periode te kunnen bepalen om daarmee een tijdrekening of kalender te kunnen maken. Het zijn dan ook deze twee punten die in alle culturen van de wereld een zeer belangrijke rol speelden in de samenlevingen.

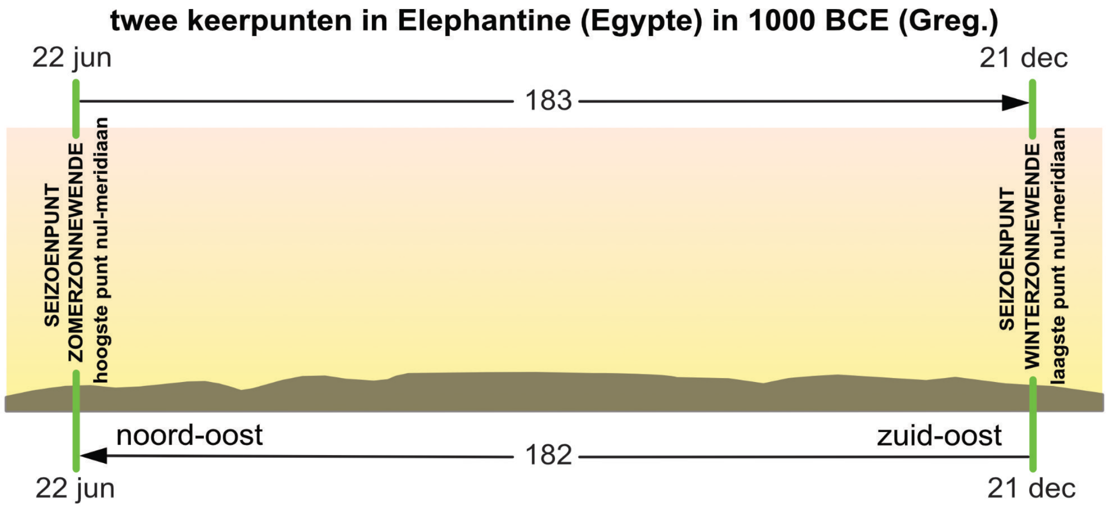
Wij weten nu dat dit ogenschijnlijke heen en weer reizen van de zon langs de horizon optisch bedrog is veroorzaakt door de ellipsvormige baan van de aarde rond de zon. Maar dat wisten de Ouden heel lang geleden natuurlijk niet. Zij waren in de veronderstelling dat de zon overdag een boog beschreef van zonsopkomst tot zonsondergang en vervolgens ‘s nachts door een vaak gevaarlijke onderwereld reisde om de volgende dag bij zonsopkomst weer te worden herboren. Bij de oude Mexicanen daalde de zon bij zonsondergang af in de onderwereld waar deze werd opgeslokt om bij zonsopkomst weer als de zonnegod *K'inich Ahau* (Maya) of *Tonatiuh* (Aztec) te worden herboren.

Bij de oude Egyptenaren was het de hemelgodin Nut, moeder van sterren en zon, die de zon bij zonsondergang opslokte, waarna deze door haar lichaam reisde om bij zonsopkomst weer als de zonnegod Ra te worden herboren uit Nut (afbeelding 4.1). Tot aan het einde van het bestaan van de beide culturen heeft deze simpele beleving en interpretatie een uiterst belangrijke rol gespeeld.



Afbeelding 4.1 - Plafondschildering in corridor D van het graf (KV9) van de Egyptische farao Ramses VI uit de 12e eeuw BCE, weergevend de dag in Egypte met boven de sterrenhemel en onder het dagelijkse pad van de zon met de nachtelijke reis van 12 uren (weergegeven door 12 rode stippen) door het lichaam van de hemelgodin Nut (bron afbeelding onbekend).

Hoe en wanneer de keerpunten van de zon werden ontdekt zullen we nooit weten maar deze kennis bestaat al heel lang. De Ouden wisten de dag met het meeste daglicht (zomerzonnewende) en de dag met het minste daglicht (winterzonnewende) te herkennen en te markeren als de twee uiterste punten langs de horizon tot waar de zon opkomt of ondergaat (afbeelding 4.2).



Afbeelding 4.2 - de twee zonnewendes als keerpunten in licht en ruimte op het eiland Elephantine, een cultusplaats in het oude Egypte in 1000 BCE (Greg. - meting SkySafari 6 Pro).

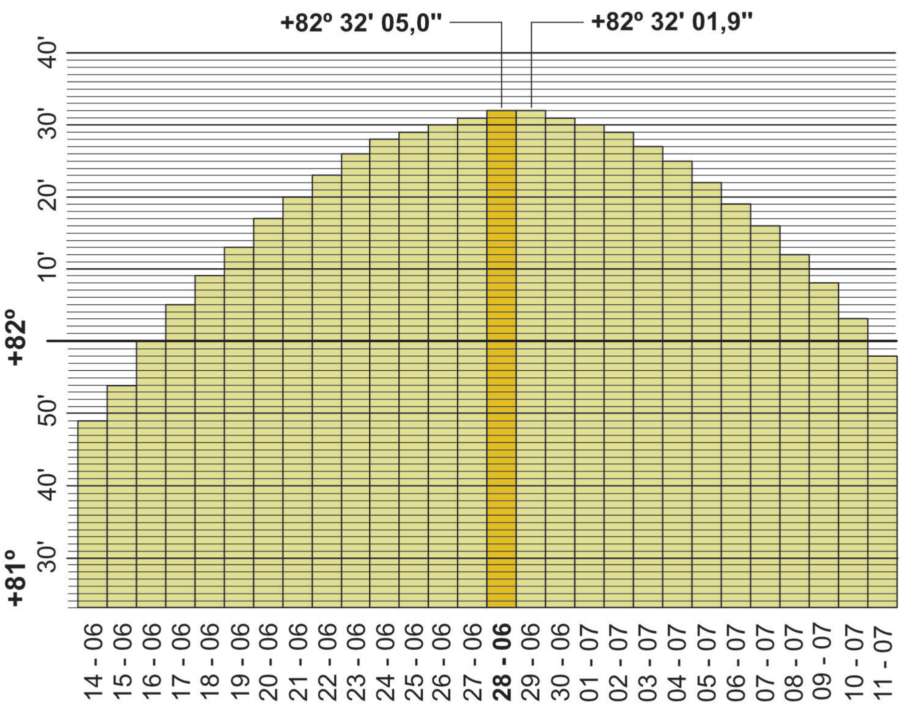
Deze ontdekking heeft op vele plekken in de wereld en onafhankelijk van elkaar plaatsgevonden. Het ogenschijnlijke heen en weer gaande verloop van de zonsopkomsten of zonsondergangen werd vervolgens vastgelegd door bijvoorbeeld een vast observatiepunt uit te lijnen op omringende landschappelijke of kunstmatige herkenningspunten. Dit is de meest voor de hand liggende manier om de twee keerpunten van de zon vast te leggen. Het keren van de zon is overigens, vanwege het verblindende licht overdag, zonder allerlei instrumenten alleen in beperkte mate waarneembaar bij de zonsopkomsten of zonsondergangen langs de horizon. Op deze manier zijn uiteindelijk ook de horizonkalenders ontstaan.

De zonnewendes markeren tegelijk ook twee perioden van tegengestelde weersomstandigheden. Afhankelijk van waar en aan wie het wordt gevraagd kunnen dat de koude en warme periode zijn of de droge en natte periode. Soms is het een combinatie.

Hoewel het moment van het keren van de zon als punt aan de horizon ruimtelijk tot op zekere hoogte nog wel is waar te nemen, is het bepalen van de precieze dag van de zonnewende echter minder eenvoudig. Omdat de aarde zich tijdens een zonnewende in de kortere bocht van de ellips bevindt (afbeelding 4.10) lijkt het voor ons op aarde of de zon een aantal dagen op dezelfde plek blijft ‘hangen’. Dit is optisch bedrog want de aarde draait gewoon door en de zon klimt wel degelijk steeds een klein stukje verder omhoog naar het maximaal te bereiken punt. Voor de zomerzonnewende in 431 BCE in Alexandrië, een jaar voor de meting van de zomer zonnewende door Meton, is dit uitgewerkt met het astronomische programma SkySafari 6 Pro (afbeelding 4.3).

Duidelijk is dat naarmate de zon dichter bij z’n hoogste punt komt, de verschillen in de duur van zonneschijn per dag steeds kleiner worden. Met name tussen 23 juni en 4 juli gaat het om een verschil van slechts 1 boogminuut tot 4 boogseconden. En dan te bedenken dat een verschil van minder dan 30 boogseconden per dag ongeveer 2 seconden op de klok is. In het voorbeeld in afbeelding 4.3 is het verschil tussen 28 en 29 juni slechts 3,1 boogseconden.

Metingen zonnewende Alexandrië (latitude 31º 12' 56.3" N en longitude 029º 57' 19.0" O) over de periode 14 juni - 11 juli 431 BCE (Juliaans).



Afbeelding 4.3 - Metingen hoogste punt van de zon per dag op de nul-meridiaan in de periode rond de zonnewende van 28 juni 431 BCE (Juliaans) in Alexandrië (Egypte).

Dit verschil is vrijwel onmogelijk waarneembaar met de oude traditionele hulpmiddelen zoals een zonnewijzer of schaduwstok (gnomon) uit de periode (5e eeuw BCE) van bijvoorbeeld de Griekse astronoom Meton (Bowen and Goldstein 1988: 40, 65; Evans, James and J. Lennart Berggren 2006: 165, IV29). Dit wordt overigens bevestigd door Ptolemy (Toomer 1984: 137). Het is ook moeilijk om veranderingen bij zonsopkomst of zonsondergang waar te nemen vanwege wisselende omstandigheden in de atmosferische breking. Deze problemen maken het onmogelijk om de dag van de zonnewende nauwkeurig te bepalen op basis van waarnemingen binnen de 3 (of zelfs 5) dagen rondom de zonnewende zonder het gebruik van nauwkeurige hulpmiddelen. Voor de Ouden was het dus niet zo eenvoudig om de echte dag van de zonnewende te bepalen. Met name de 5 dagen ervoor en erna zijn met een eenvoudig instrument in duur niet of nauwelijks van elkaar te onderscheiden.

In het voorbeeld van afbeelding 4.3 bereikte de zon op 28 juni 431 BCE (Juliaans) z'n hoogste punt waarna de omkering in de duur van het daglicht plaatsvindt en de zon weer geleidelijk zal gaan zakken. Aangenomen wordt dan ook dat de oude Griekse astronomen een benaderingsmethode hebben gebruikt op basis van interpolatie die nog steeds door sommige amateurastronomen wordt gebruikt. Deze methode bestaat uit het gedurende een aantal dagen bepalen van de hoek van klimming 's middags voor en na de zonnewende in een poging twee afzonderlijke dagen met dezelfde klimming te vinden. Wanneer die twee dagen worden gevonden is de tijd halverwege beide middagen de geschatte zonnewende. Voor de bepaling van een zonnewende is een interval van 45 dagen voorgesteld als de beste manier om een precisie van een kwart dag te bereiken. Maar dit is natuurlijk niet een echt betrouwbare methode.

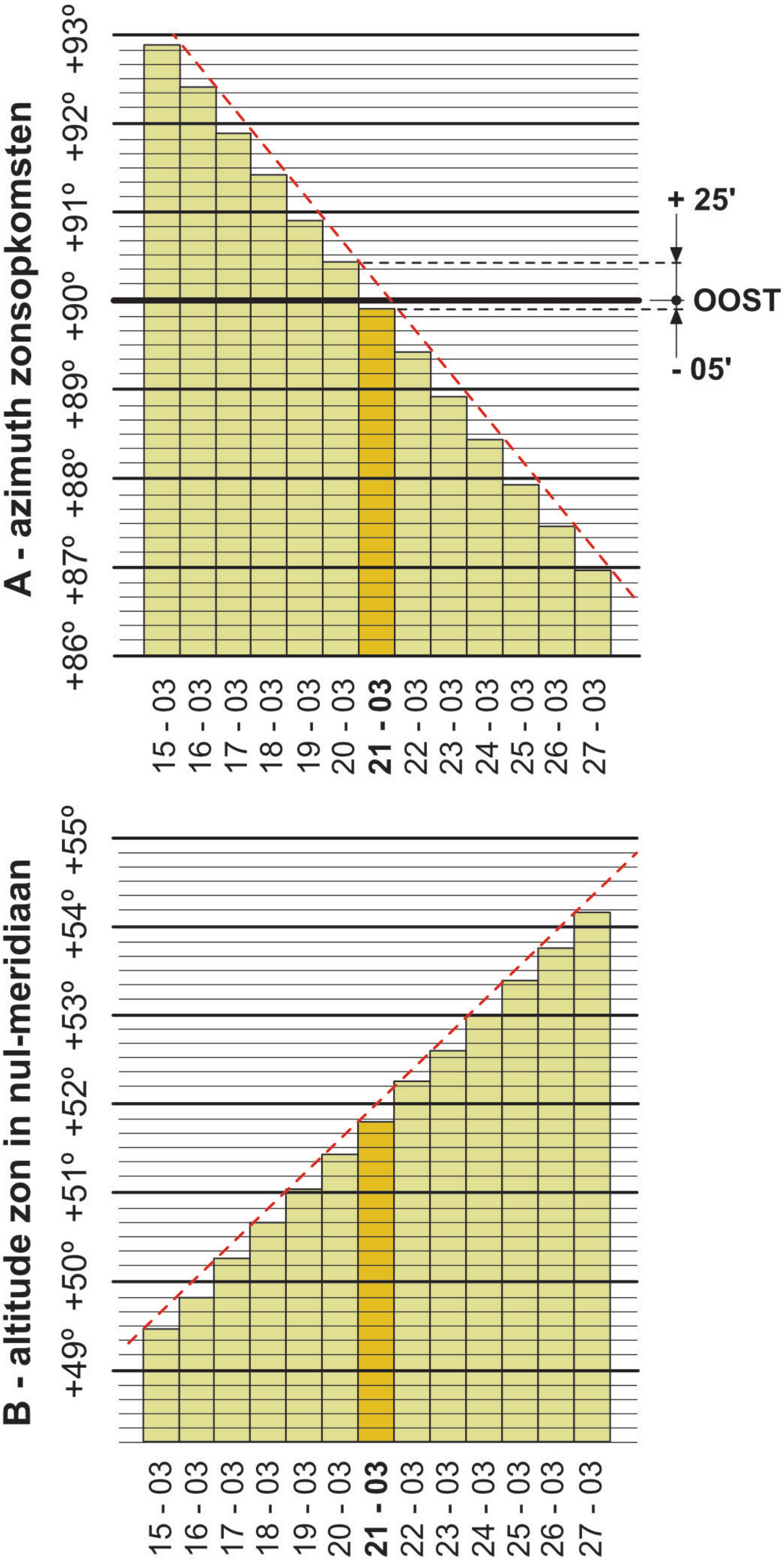
4.2 De equinoxen

Heel anders is dat met twee andere punten van de zon die wij de equinoxen noemen. Deze worden al zeer lang tot de seizoenpunten gerekend. Menigeen is ten onrechte in de veronderstelling dat ook dit natuurlijke en herkenbare punten zijn. Maar het tegendeel is waar want het zijn voor het oog onzichtbare momenten in het jaarlijkse pad van de zon. Het zijn feitelijk door de mens bedachte momenten in de tijd gebaseerd op mathematische principes en berekeningen. Het enige door natuurlijke wetmatigheden veroorzaakte effect is dat tijdens de equinox de dag en nacht relatief gelijk van duur zijn. Dit moet echter niet al te letterlijk worden opgevat omdat er ook nog zoiets is als het schemergebied tussen het daglicht en de nacht. Waar dit bij hoort wordt nergens vermeld.

In tegenstelling tot de twee zonnewendes passeren de dagen van de twee equinoxen voor het menselijk oog net zo onherkenbaar als vrijwel alle andere dagen. Ze vallen op geen enkele manier op in het patroon van de doorsnee zonnedagen. Dit is ook goed te zien in de twee grafieken (afbeelding 4.4) die ik heb samengesteld voor het verloop van de dagen voor en na de lente-equinox.

De eerste grafiek (afbeelding 4.4A) geeft de zonsopkomsten in booggraden weer langs de horizon (azimuth) op de dagen voor en na de equinox. Duidelijk is dat dit patroon zeer regelmatig is zonder een opvallende dag. Alleen op 21 maart 431 BCE (Gregoriaans) komt de zon nagenoeg in het oosten (90° -5") op. De vermelding dat de zon in het oosten opkomt en het westen ondergaat geldt voor slechts twee dagen in het jaar en dat is voor de lente- en de herfstequinox. Maar dan moet je wel weten waar precies het oosten ligt en daarvoor is een magnetisch kompas nodig. Iets dat de Ouden echt niet kenden. De eerste vermelding hiervan komt uit de Chinese verzameling van teksten genaamd '*Hanfeizi Youdu*' uit 1e eeuw BCE waarin een ontdekking uit de 4e eeuw BCE is beschreven met de vermelding dat zeilsteen ijzer aantrekt wat duidt op de magnetische werking van gemagnetiseerd ijzererts. De vier hoofdrichtingen zoals wij ze kennen van het magnetische kompas zijn pas door de mens na de 12e eeuw CE in het leven geroepen als hulpmiddelen voor z'n oriëntatie. Overigens kenden de Ouden wel richtingen maar zij hadden hiervoor een ander concept en een andere benaming.

In het tweede voorbeeld (afbeelding 4.4B) is de maximale hoogte van de zon aan de hemel (altitude) weergegeven. Ook hier volgen de dagen rond de datum van de equinox elkaar in een nagenoeg gelijk patroon op en stijgt de zon iedere dag ongeveer eenzelfde stukje verder aan de hemel tot het hoogste punt is bereikt in de zomerzonnewende.



Afbeelding 4.4 - Metingen azimuth (A) en altitude (B) van de zon in Athene (latitude 37º58'46'' N; longitude 023º42'58,4'' O) over de periode 15-27 maart 431 BCE (Gregoriaans; metingen SkySafari 6 Pro) .

Dezelfde 21 maart 431 BCE (Gregoriaans) valt ook in deze reeks evenmin op. Dit onderstreept nog eens dat de equinoxen geen herkenbare natuurlijke momenten in een jaarcyclus zijn maar een vinding van de mens om de ”tijd” beter te kunnen ordenen en af te stemmen op de seizoenen op aarde.

Het is meer dan waarschijnlijk dat de equinoxen als seizoenpunt hun oorsprong kennen in die gebieden in de wereld waar als gevolg van de klimatologische omstandigheden de agrarische activiteiten een patroon kenden van vier kwarten in het jaar. De twee equinoxen liggen tenslotte ongeveer in het midden tussen de zonnewendes. Deze vier kwarten kregen vaste vorm in kalenders en verschillende kalendersystemen en zijn uiteindelijk de ons bekende seizoenen geworden.

Er zijn auteurs die beweren dat een equinox eenvoudig te bepalen is. De werkelijkheid voor de Ouden was echter wel iets anders want zij beschikten niet over nauwkeurige meetinstrumenten zoals uurwerken, equatoriale zonnewijzers of kompassen. In de tijd van het eerste ontstaan van een tijdrekening en kalender moesten de Ouden het doen met eenvoudige schaduw- of zonnewijzers. Voorwaarde daarbij was wel dat er ofwel een behoefte was ontstaan om het middelpunt tussen de zonnewendes te weten ofwel heeft men tijdens langdurige metingen met schaduwstokken ontdekt dat de schaduwlijn tussen de 2 zonnewendes een boogvorm had met een hoogste punt waarop licht en donker op die dag gelijk waren. Want de Ouden wisten natuurlijk niet dat de aarde in een baan om de zon draait en hadden ook nog nooit van oost en west gehoord. Het is daarom meer dan waarschijnlijk dat de Ouden de equinoxen bij toeval en waarschijnlijk eerst alleen rekenkundig hebben bepaald als het midden tussen de zonnewendes.

Maar lang niet alle oude beschavingen gebruikten het fenomeen van de equinoxen ook in hun kalenders of tijdrekeningen. In het oude Mesopotamië bijvoorbeeld, kende men over het algemeen maar twee seizoenen, het droge en het natte seizoen. En deze werden volledig bepaald door de twee zonnewendes. Dit betekent overigens niet dat ze niet de dag kenden waarop de uren licht en donker vrijwel gelijk zijn aan elkaar en wat wij nu de equinox noemen.

In Egypte en Assyrië kende men echter drie seizoenen en daarom speelde ook daar de equinox geen rol in de kalenders en tijdrekening. De Babyloniërs bepaalden de seizoenen met behulp van de tekens van de zodiak (White 2007: 43-55). Een aantal sterrengroepen die opkomen tijdens de periode van het voorjaar waren Aries (ram), Taurus (stier) en Gemini (tweeling). De lente-equinox stond voor het begin van het nieuwe jaar en luidde het voorjaar in met overal nieuw leven en overvloed. De herfst-equinox begon met Virgo (maagd) gevolgd door Libra (weegschaal) en Scorpius (schorpioen).

Zoals uit de vermeldingen in de MUL.APIN valt af te leiden (Hunger and Steele 2019: 198) deden de Babyloniërs over langere perioden ook schaduwmetingen met behulp van een schaduwstok en legden dit vast in hun kleitabletten. Bij deze metingen hadden ze ontdekt dat er twee dagen in het zonnejaar waren die een gelijke duur van daglicht en nacht kenden (Olmstead 1938: 125; Belmonte et al. 2015: hoofdstuk 4). Ze noemden dit ”de dag is in balans”.

Op deze manier kenden ze ook de zonnewendes als de dagen met het meeste en het minste daglicht die ze heel toepasselijk ”de zon stond stil” noemden. Het is vrijwel zeker dat deze Babylonische kennis ook terecht is gekomen bij een aantal Griekse wetenschappers die dit als basis gebruikten voor een verdere uitwerking.

Maar het is net zo goed mogelijk dat er ergens een moment is geweest dat het iemand is opgevallen dat op een bepaalde dag bij een schuin staande platte steen de zijkanten en bovenkant die dag in de schaduw bleven en alleen de platte voorkant door de zon werd beschenen. Een typisch verschijnsel dat alleen plaatsvindt tijdens de dag van de equinox wanneer het platte oppervlak van een voorwerp toevallig loodrecht op de zon gericht staat. Ook dit zou dan weer zo’n toevalstreffer zijn geweest en in die tijd wellicht aanleiding dit verder te onderzoeken. Daar staat tegenover dat het ook mogelijk is dat een beschaving met een sterke agrarische cultuur, bewust gezocht heeft naar een hierop aansluitende structuur in bijvoorbeeld de jaarkalender.

Het waren de Grieken die met behulp van een equatoriale zonnewijzer nauwkeuriger de equinoxen konden bepalen. Het principe hiervan werd volgens Samuel (1977: 23) tezamen met andere instrumenten al in de 6e eeuw BCE ontwikkeld maar de Griekse astronomen gingen er pas in de loop van de 5e eeuw BCE mee werken. Zowel Samuel als Dicks (1966: 32) benadrukken dat de equinoxen alleen rekenkundig konden worden bepaald en dat zo'n berekening een aanzienlijke kennis van astronomische theorie vereist. Kennis waarover de Grieken in de 6e eeuw BCE nog niet beschikten en pas in de loop van de 5e eeuw bij hen beschikbaar werd (Dicks 1966: 33).

De equinoxen en zonnewendes zijn de vaste keerpunten geworden in de ogenschijnlijke baan van de zon aan de hemel. In een natuurlijk zonnejaar is de dag van de lente-equinox op het noordelijk halfrond altijd rond 21 maart en die van de herfst-equinox altijd rond 21 september. Vanaf 21 maart wordt de periode van daglicht langer en vanaf 21 september wordt de periode van daglicht juist korter. Op het zuidelijke halfrond is dit precies omgekeerd en valt de lente-equinox rond 21 september en de herfst-equinox rond 21 maart.

Het zijn de twee enige dagen in het zonnejaar waarop de zon precies in het oosten opkomt en in het westen ondergaat en dag en nacht van ongeveer gelijke lengte zijn. Er blijkt overigens nergens uit dat de Ouden de dagen van de equinoxen op de een of andere manier hadden verbonden met richtingen als oost en west want dit soort puntvormige hoofdrichtingen kenden ze helemaal niet. De richtingen bij de Ouden waren vaak bredere gebieden in plaats van een vast punt, zoals daar waar de zonnegod iedere dag opnieuw wordt geboren of het gebied waar de zonnegod iedere dag de onderwereld binnengaat en wordt verslonden.

Van het in de oudheid vastleggen van zonnewendes en equinoxen zijn verschillende voorbeelden gevonden in rotstekeningen (schaduwwijzers), inscripties en hiëroglyfen.

Maar ook als vaste markeringen in het landschap (horizonkalenders) of als uitlijningen van tempels, observatiepunten en andere bouwwerken op een of meerdere van de keerpunten. Als instrumenten om deze keerpunten te bepalen werden bijvoorbeeld zonnewijzers, schaduwstokken en zonneschachten gebruikt. En dit ontdekken gebeurde duizenden jaren geleden op verschillende plaatsen op onze wereldbol zonder dat men dit van elkaar wist. Hiervan zijn gelukkig vele voorbeelden bewaard gebleven zoals beschreven in het rijkelijk geïllustreerde boek 'Celestial Geometry' van Ken Taylor (2012).

4.3 Voorbeelden uitlijning op de keerpunten

Een wereldberoemd voorbeeld is uiteraard Stonehenge in Wiltshire, Engeland. Dit indrukwekkende monument uit het stenen tijdperk behoort terecht tot het Unesco Wereld Erfgoed. De eerste fase van de bouw begon al rond 8700 BCE met de oprichting van een aantal grote stenen. Pas later, rond 3200 BCE, is de bouw van het monument zelf begonnen. En dit monument is uitgelijnd op zowel de winter- als de zomerzonnewende wat nog steeds te bewonderen is.

Voorbeelden van uitlijningen op de winterzonnewende zijn volop te vinden in Europa. Een prachtig voorbeeld is de heuvel, genoemd als 'ganggraf' of oude tempel, in Newgrange, in de Boyne Valley, County Meath, Ierland. Uit opgravingen bleek dat deze heuvel dateert uit het stenen tijdperk van voor 3200 BCE, dus ruim 5200 jaar oud. Ook dit behoort nu tot het Unesco Werelderfgoed. Men heeft ontdekt dat ieder jaar rond 21 december een fantastisch schouwspel plaatsvindt. Beginnend op 19 december met een hoogtepunt rond 21 december, valt het zonlicht door een rechthoekige opening boven het afdak van de hoofdingang om daarna via een op de winterzonnewende uitgelijnde gang van 19 meter de achterin liggende kamer gedurende ongeveer 17 minuten in een gouden licht te hullen.

Dit is inmiddels uitgegroeid tot een jaarlijks schouwspel waarvan slechts enkele genodigden kunnen genieten. Meer informatie is te vinden op de website van Newgrange: https://www.newgrange.com (zie ook Ken Taylor 2012: 126, 127).

Een prachtig voorbeeld van een horizonkalender is die van Chanquillo in Peru (afbeelding 4.5), ook bekend als de 13 torens (Ghezzi and Ruggles, 2007). Dit is in feite een zonnekalender uit de 4e eeuw BCE, waar vanaf het bijbehorende observatiepunt nog steeds de zonnewendes en equinoxen op bijna dezelfde plaatsen in deze horizonkalender te zien zijn (Unesco, 2013; Taylor 2012: 98, 99).



Afbeelding 4.5 - Horizonkalender van Chanquillo in Peru.
(Juancupi - Own work, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51818027)

Angkor Wat in Cambodja behoort tot een van de grootste bouwcomplexen in de wereld. Het is een enorm tempel- en paleiscomplex, uitgelijnd op de oost-west as en wordt gekarakteriseerd door 5 torens die in de vorm van een quincunx (dobbelsteen vijf) zijn geplaatst (afbeelding 4.6). Tijdens de lente-equinox staat de zon direct boven de hoogste, centrale toren. In het dak van deze hoogste toren zit een gat dat de zonnestralen bundelt die recht omlaag gaan door een gat in de vloer en via een schacht van 30 meter tot in een ruimte diep onder de grond worden geprojecteerd. Volgens de overlevering was deze ruimte, als spirituele schakel, bestemd voor het graf van de koning die na zijn dood vanuit zijn tombe via deze lichtbundel van de zon naar zijn hemelse rijk zou worden geleid.

De lente-equinox is bijvoorbeeld in Egypte als ijkpunt gebruikt bij de bouw en uitlijning van de pyramide van Giza en de hiervoor liggende Grote Sfinx. Staande voor de Sfinx en in rechte lijn kijkend naar de pyramide van Khafre gaat de zon tijdens de lente-equinox precies onder bij de linker onderzijde van de pyramide en boven de linkerschouder van de Sfinx. Kort voor het verdwijnen onder de horizon werpen de laatste zonnestralen een lange schaduw van de pyramide recht over de Sfinx. Dat was in 2300 BCE zo en dat is nu nog steeds zo.

Allemaal praktische en zeer tastbare bewijzen dat de relatie tussen zon en aarde bijzonder vast was met een oeroud patroon. De wereld staat dan ook vol met bewaard gebleven voorbeelden van dit uitlijnen op de seizoenpunten.

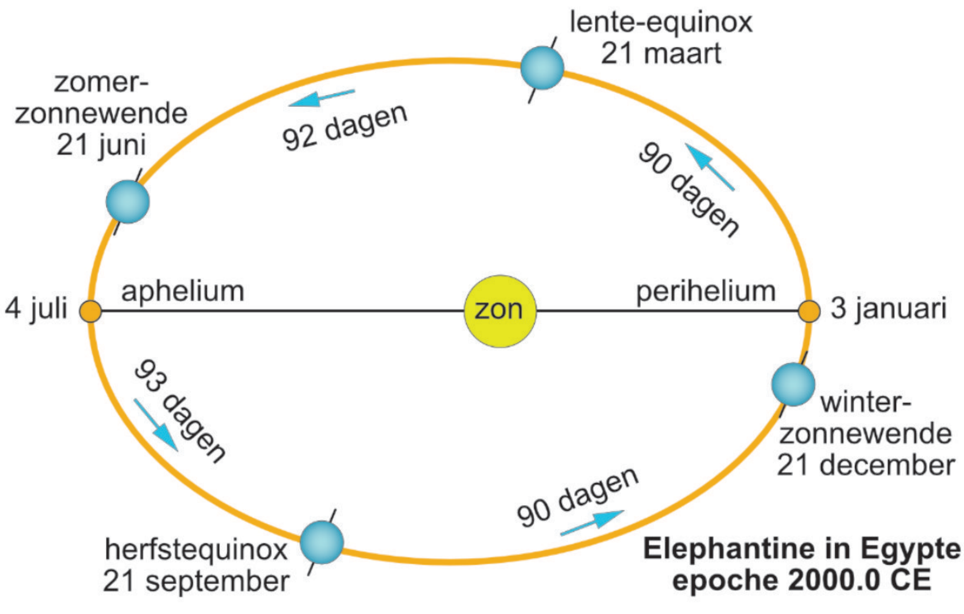
4.4 Seizoenpunten en hun patroon

Zowel de zonnewendes als de equinoxen markeren de beginpunten van de seizoenen en worden daarom seizoenpunten genoemd. Het zijn deze punten die tot ver in onze moderne geschiedenis gebruikt werden om eerst de duur van een zonnejaar te meten en later het westerse standaardjaar.



Afbeelding 4.6 - Tempel- en paleiscomplex Angkor Wat in Cambodja.
Foto Dennis Jarvis (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cambodia_2638B_-_Angkor_Wat.jpg).

In de natuurlijke cyclus van de seizoenen hebben de seizoenpunten een relatief vast patroon dat wordt gedicteerd door de enigszins ellipsvormige baan van de aarde rond de zon in combinatie met de schuin staande aardas (afbeelding 4.7). Zoals eerder vermeld is het aantal door mensen bepaalde seizoenen in een jaar geen vast gegeven. In het oude Egypte kende men bijvoorbeeld 3 seizoenen en Indonesië kent vanwege het tropische regenwoudklimaat maar twee seizoenen, het regenseizoen en het droge seizoen.



Afbeelding 4.7 - Sterk vereenvoudigd principe van de cyclus van de linksom rond de zon draaiende aarde met de vier keerpunten of seizoenpunten in deze baan.

4.5 Het seizoenjaar

Waar tot nu toe over is gesproken, is het gemiddelde zonnejaar. Dit wordt pas sinds de laatste eeuw vrij nauwkeurig berekend op basis van de passage van een meridiaan. Meridianen, uitgedrukt in lengtegraden die over de twee polen lopen, zijn al sinds de 3e eeuw BCE bekend.

Het was de Griekse astronoom en geograaf Eratosthenes (276-194 BCE) die zich als eerste heeft beziggehouden met het berekenen van de geografische lengte en breedte. Het zijn deze meridianen waarop sinds 1959 de dagelijkse rotatie in 360º van de aarde en de baan van de aarde in 360º rond de zon worden berekenend en periodiek vastgelegd in een epoche.

Tot aan 1959 werden hiervoor alleen de zonnewendes en equinoxen gebruikt, de vier keerpunten van de zon. Hoewel het gebruikelijk was om de duur van een jaar vooral van lente-equinox naar lente-equinox te meten, werd hiervoor af en toe ook één van de andere drie keerpunten gebruikt. De vier keerpunten fungeren in feite als de boodschappers van weer een ander seizoen. Ze worden daarom ook wel de seizoenpunten genoemd.

Deze seizoenpunten werden bijvoorbeeld door de oude volken gebruikt om het begin van het nieuwe jaar te bepalen. De volken die een maan-zon-kalender hadden, zoals de oude Grieken, gebruikten het zonnejaar als de maat van tijd omdat hun jaar begon bij de eerste verschijning na zonsondergang van de smalle maansikkel na de lente-equinox. En een jaar van lente-equinox naar lente-equinox is dan een seizoenjaar. Hetzelfde geldt voor de andere keerpunten.

En zoals we hieronder zullen zien maakt het wel degelijk verschil of de duur van een zonnejaar door de Ouden op de lente-equinox of op de zomerzonnewende werd gemeten. Bovendien is niet altijd duidelijk op welk tijdstip van de dag de equinoxen of zonnewendes werden gemeten. Bij de zonnewendes moet men er rekening mee houden dat vanaf de aarde gezien de zon een aantal dagen ogenschijnlijk op hetzelfde punt aan de hemel blijft staan. Terecht kan dan ook de vraag worden gesteld welke dag precies door de Ouden werd gemeten als zonnewende.

4.6 Onderlinge afstanden seizoenpunten

Een interessant gegeven is dat Van der Waarden (1984: 116) een overzicht geeft van de onderlinge afstanden in dagen tussen de 4 seizoenpunten. Hij onderscheidt hierbij 3 perioden: 430 BCE voor Meton en Euctemon, 370 BCE voor Plato en Eudoxos en 330 BCE voor Aristotle en Kallippos.

Gerekend vanaf de zomerzonnewende gaf Euctemon als onderlinge afstanden 91, 92, 91 en 91 dagen. Eudoxus kwam uit op 90, 90, 92 en 93 dagen en Kallippos noteerde hiervoor 92, 89, 90 en 94 dagen wat volgens Van der Waerden goed aansluit bij moderne berekeningen.

Maar afgezien van de genoemde verschillen in onderlinge afstanden valt direct op dat in alle drie de perioden en door alle drie genoemde Griekse astronomen, het totaal van de dagen steeds precies 365 is wat dan uiteraard alleen zonnedagen kunnen zijn. Alweer een bevestiging dat men in die tijd alleen het zonnejaar kende met 365 zonnedagen.

Van der Waerden (1984: 118) toont ook aan dat de aan Kallippos in de zogenoemde Eudoxos Papyrus (Hibeh Papyrus i 27) toegeschreven loop van de zon door de 12 tekens van de zodiak, eveneens werd uitgegaan van een zonnejaar van 365 dagen. Kallippos geeft namelijk voor de tussenliggende perioden als aantal dagen op: Cancer 31, Leo 31, Virgo 30, Libra 30, Scorpio 30, Sagittarius 29, Capricorn 30, Aquarius 30, Piscus 30, Aries 31, Taurus 31 en Gemini 32. Tezamen opgeteld alweer 365 zonnedagen. Dus ook Kallippos gaat in deze aan hem toegeschreven berekening van de duur van de 12 sterrenbeelden uit van een zonnejaar van 365 zonnedagen.

4.7 Verschillen tussen seizoenpunten

Zoals hierboven vermeldt geeft het meten op de vier seizoenpunten van de zon onderlinge verschillen in de duur van de zonnejaren (Meeus 1992: 42). Een zonnejaar werd vroeger gemeten van een seizoenpunt tot hetzelfde seizoenpunt een jaar later. De onderlinge verschillen van de op de seizoenpunten gemeten zonnejaren zien we terug in de kolom onder 1999-2000.

Met het hieronder weergegeven overzicht van Meeus kan echter ook inzichtelijk worden gemaakt wat de verschillen zijn van de afzonderlijk gemeten seizoenpunten van de seizoenjaren ten opzichte van de duur van een gemiddeld zonnejaar gemeten over 360°.

Seizoenjaar	1999-2000	verschil met het gemiddelde zonnejaar
Tussen twee lente-equinoxen	365,242374 dagen	0,000185 dag meer (15,98 sec.)
Tussen twee zomerzonnewendes	365,241626 dagen	0,000563 dag minder (48,64 sec.)
Tussen twee herfst-equinoxen	365,242018 dagen	0,000171 dag minder (14,77 sec.)
Tussen twee winterzonnewendes	365,242740 dagen	0,000551 dag meer (47,61 sec.)
	------------- +	
	1460,968758 dagen	
	÷ 4	

Gemiddeld zonnejaar over 360°	365,242189 dagen	op basis van epoche 2000.0 CE

Duidelijk is dat metingen van seizoenjaren op de zonnewendes een afwijking oplevert van iets minder dan een minuut, terwijl metingen van de seizoenjaren op de equinoxen een veel kleinere afwijking geven en dus iets meer de werkelijke gemiddelde duur benaderen.

Otto Neugebauer (1983: 171) vermeldt dat het zonnejaar, dat gelijk is aan het tropisch jaar, een periode is die feitelijk door de zonneloop wordt bepaald en waarvan de lengte niet precies gelijk is. Verder vermeldt hij dat onze Gregoriaanse kalender met behulp van regels voor schrikkeldagen in historische tijd nooit echt ver van het tropisch jaar verwijderd is. En een Gregoriaanse datum laat steeds het seizoen correct herkennen omdat de datum van het lentepunt niet wezenlijk van 21 maart verwijderd is.

Belenkiy & Vila Echagüe (2016: 11) hebben de door Hipparchus (160 BCE) en Newton (1700 CE) berekende duur van het zonnejaar dat werd gemeten op de zomerzonnewende opnieuw berekend en kwamen uit op:

Hipparchus (epoche 160.0 BCE): 365d: 5h: 49m: 8s (365,2424537 dagen)
Newton (epoche 1700.0 CE): 365d: 5h: 48m: 48s (365,2422222 dagen)

Wislicenus (1895: 22) geeft voor epoche 1800.0 CE een in westerse standaardtijd weergegeven duur van een gemiddeld zonnejaar van 365d: 5h: 48m: 46,43 s. (365,242204 dagen).

Allemaal indrukwekkende getallen maar toch echt niet met deze nauwkeurigheid meetbaar met een schaduwstok in 1000 of 500 BCE.

4.8 De duur van een zonnejaar

Zoals eerder vermeld was het ontdekken van de beide zonnewendes de eerste noodzakelijke stap op weg naar het meten van de duur van een zonnejaar. Want zonder kennis van deze twee keerpunten aan de horizon is het onmogelijk om deze duur te kunnen bepalen. De Ouden ontkwamen er niet aan om deze twee uiterste punten van de zon op een herkenbare manier te gaan markeren, hetzij met behulp van vaste landschappelijke kenmerken, bijvoorbeeld een berg, hetzij met kunstmatige observatiepunten. Er is niet veel fantasie voor nodig om te bedenken dat zodra de eerste vormen van tellen waren ontdekt men ook de dagen tussen deze uiterste punten kon gaan tellen.

Uiteraard waren ook dit zonnedagen want er bestond nu eenmaal niets anders. Men zal al snel tot de ontdekking zijn gekomen dat de zon steeds heen en weer reisde tussen deze twee punten en dat ze onderling een groot verschil hadden in de duur van daglicht en de weersomstandigheden.

Nadat de twee uitersten punten als begin- en eindpunt van de zonsopkomsten waren ontdekt en gemarkeerd, kon door het aantal zonsopkomsten tussen de twee keerpunten te tellen, worden bepaald hoeveel keer de zon opkwam tussen deze twee.

Omdat de zon een aantal dagen blijft ‘hangen’ op de keerpunten zal het ongetwijfeld een aantal jaren hebben geduurd voor de Ouden het precieze keerpunt hadden vastgesteld om daarna het aantal zonsopkomsten of zonsondergang tussen de beide keerpunten te kunnen bepalen. Ze moeten uiteindelijk hebben ontdekt dat de zon 183 keer opkomt tussen het keerpunt van de zon op het hoogste punt (de zomerzonnewende) en het keerpunt van de zon op het laagste punt (de winterzonnewende). Maar tegelijk moeten ze ook hebben ontdekt dat het aantal zonsopkomsten of zonsondergangen in de omgekeerde richting (winterzonnewende-zomerzonnewende) 182 keer plaatsvindt (afbeelding 4.1), dus een dag minder. Het totaal is dan 183 + 182 = 365 zonnedagen.

Dit bovengenoemde verschil van een zonnedag tussen de heen- en terugweg komt door de enigszins ellipsvormige baan van de aarde rond de zon en omdat de aarde niet precies in het middelpunt van deze ellips staat, dus enigszins asymmetrisch. Hierdoor heeft het ogenschijnlijke pad van de zon van de zomerzonnewende naar de winterzonnewende een iets langere weg (183 zonnedagen) dan van de winterzonnewende terug naar de zomerzonnewende (182 dagen; afbeelding 4.2). Tijdens de zonnewendes bereikt de aarde feitelijk het uiterste punt van een grote ellips. Omdat wij op aarde zowel de baan van de aarde als de zon in het platte vlak zien (afbeelding 4.7) lijkt het of de zon tijdens de zonnewendes een aantal zonnedagen op hetzelfde punt blijft staan terwijl de zon zich in feite naar ons toe of van ons af beweegt.

Bekend is dat de oude volken die met een zonnekalender werkten, meestal één van de vier genoemde seizoenpunten van de zon als referentiepunt gebruikten om de jaarcyclus van 365 zonnedagen te volgen zodat men wist wanneer de volgende jaarcyclus en dus het nieuwe jaar begon. Dit gebeurde bijvoorbeeld met behulp van een vast markeringspunt of vanuit een daarvoor gebouwd observatorium. Het seizoenpunt was niet bij alle volken die een zonnekalender gebruikten hetzelfde. Van de zomerzonnewende, winterzonnewende en lente-equinox zijn vele historische voorbeelden van het gebruik als referentiepunt bekend.

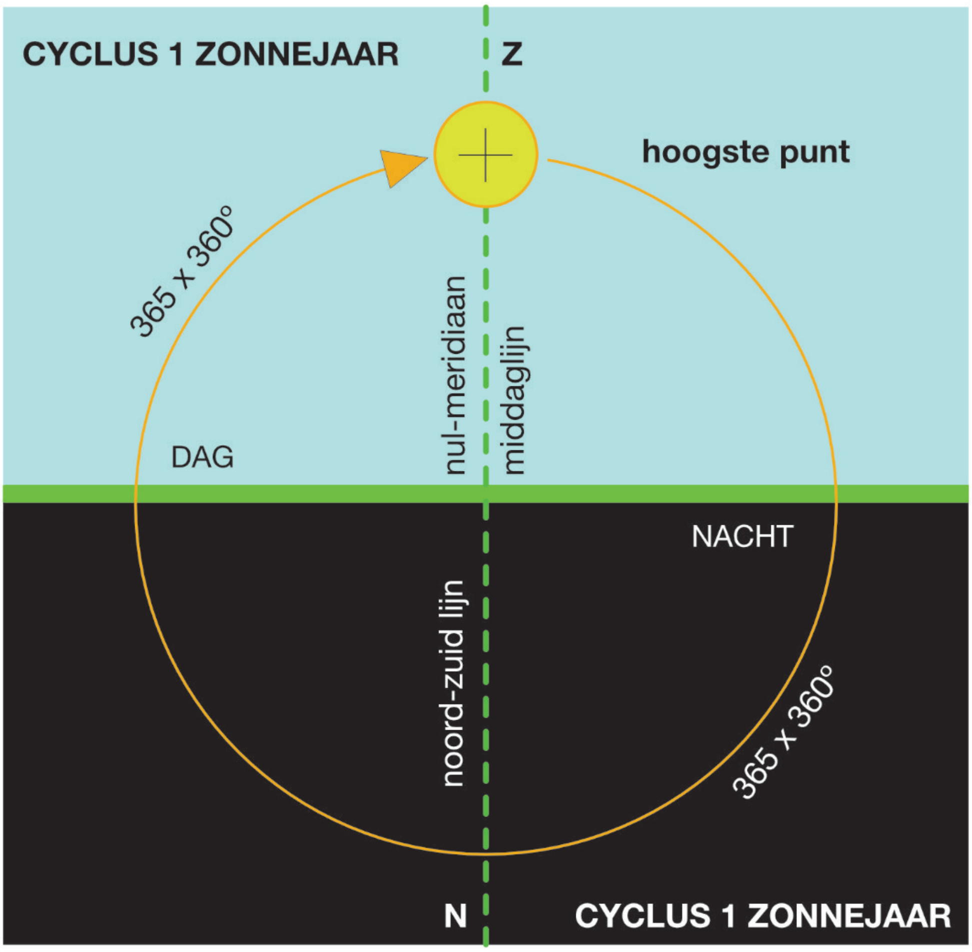
Het zijn ook deze seizoenpunten, de equinoxen en zonnewendes, die bij de Ouden een centrale plek kregen in hun cultuur zoals het begin van een nieuw jaar of een belangrijke agrarische gebeurtenis. Het zijn in de tijd rotsvaste en zeer betrouwbare momenten in het zonnejaar gebleken en zijn onlosmakelijk verbonden met de elliptische baan van de aarde rond de zon. Ze hebben op zich geen enkel direct verband met de sterrenhemel. Het is de mens geweest die een verband heeft gelegd tussen de zon, de seizoenpunten en de sterrenhemel.

Het is ook de mens die soms een merkwaardige uitleg geeft over natuurlijke processen. Zo schrijft Leo Depuydt (1995: 44) bijvoorbeeld dat het 365 dagen jaar een uitvinding van de Egyptenaren zou zijn. Dit is natuurlijk geen uitvinding maar de ontdekking van iets dat in de natuur al miljoenen, zo niet miljarden, jaren bestaat. En dat hebben niet alleen de Egyptenaren maar ook de Olmecs in het oude Midden-Amerika en de Chinezen in het oude China in ongeveer dezelfde periode ontdekt.

4.9 Huidige definitie zonnejaar

Het totale aantal keren dat de zon in een jaar opkomt of ondergaat voor deze na 360° weer terug is op het beginpunt en dus een totale cyclus heeft voltooid, is 365. En deze 365 betekent 365 zonnedagen waarin de zon z’n ogenschijnlijke cyclus langs de hemel voltooid. De 365 dagen tezamen vormen het zonnejaar (afbeelding 4.8). Dit betekent dat 1° gelijk is aan 365 ÷ 360 = 1,01388888 dag ofwel omgerekend in westerse standaardtijd 24 uren, 19 minuten en 59,99 seconden (afgerond 1 dag en 20 minuten).

De sinds 1959 geaccepteerde definitie van Danjon (1959: 115) zegt dat het tropisch jaar de tijd is die de zon nodig heeft om na 365 dagen van een bepaalde meridiaan na een omloop van 360° terug te keren op dezelfde meridiaan (Meeus 1992: 40, 42; González 2014: 1; Nelson et al. 2001: 510), dus feitelijk het lentepunt (zie 6.6). Tot aan 1959 werd echter onder het tropisch jaar vrijwel altijd verstaan de tijd die de zon nodig had om van een lente-equinox naar de volgende lente-equinox het jaar daarop te gaan. Met, zoals onder 4.7 beschreven, een iets langere duur ten opzichte van een gemiddeld zonnejaar. Hoewel we vanuit de dagelijkse visuele beleving voortdurend spreken over het pad of de baan van de zon is dit in werkelijkheid natuurlijk de baan van de aarde rond de zon.



Afbeelding 4.8 - Ogenschijnlijke jaarlijkse omloop van de zon in 360° van het hoogste meridiaanpunt naar hetzelfde hoogste meridiaanpunt na 365 zonnedagen.

De jaarcyclus van 365 zonnedagen was voor de oude volken met een zonnekalender de basis voor hun systeem van tijdrekening. In de tijd van de Ouden, toen de eerste kalenders ontstonden, kon de duur van een zonnejaar alleen worden gemeten van seizoenpunt naar seizoenpunt, in het begin alleen bij de twee zonnewendes en later ook bij de twee equinoxen. Kompassen en meridianen bestonden toen nog lang niet. In de belevingswereld van de Ouden werd de zon 365 keer herboren voordat het nieuwe jaar aanbrak.

In de eerder genoemde voorbeelden van uitlijningen op één van de vier keerpunten of seizoenpunten van de zon, waarvan er duizenden verspreid zijn over de aarde, heeft het ontwerpen en bouwen van deze imposante bouwwerken vele jaren zware arbeid gekost. De bedenkers hiervan waren echt niet zo dom dat ze dergelijke grote en kostbare bouwwerken realiseerden en uitlijnden op een keerpunt van de zon als ze er niet zeker van zouden zijn geweest dat deze uitlijning ook na de bouw en tot zelfs lang daarna, hetzelfde zou zijn?

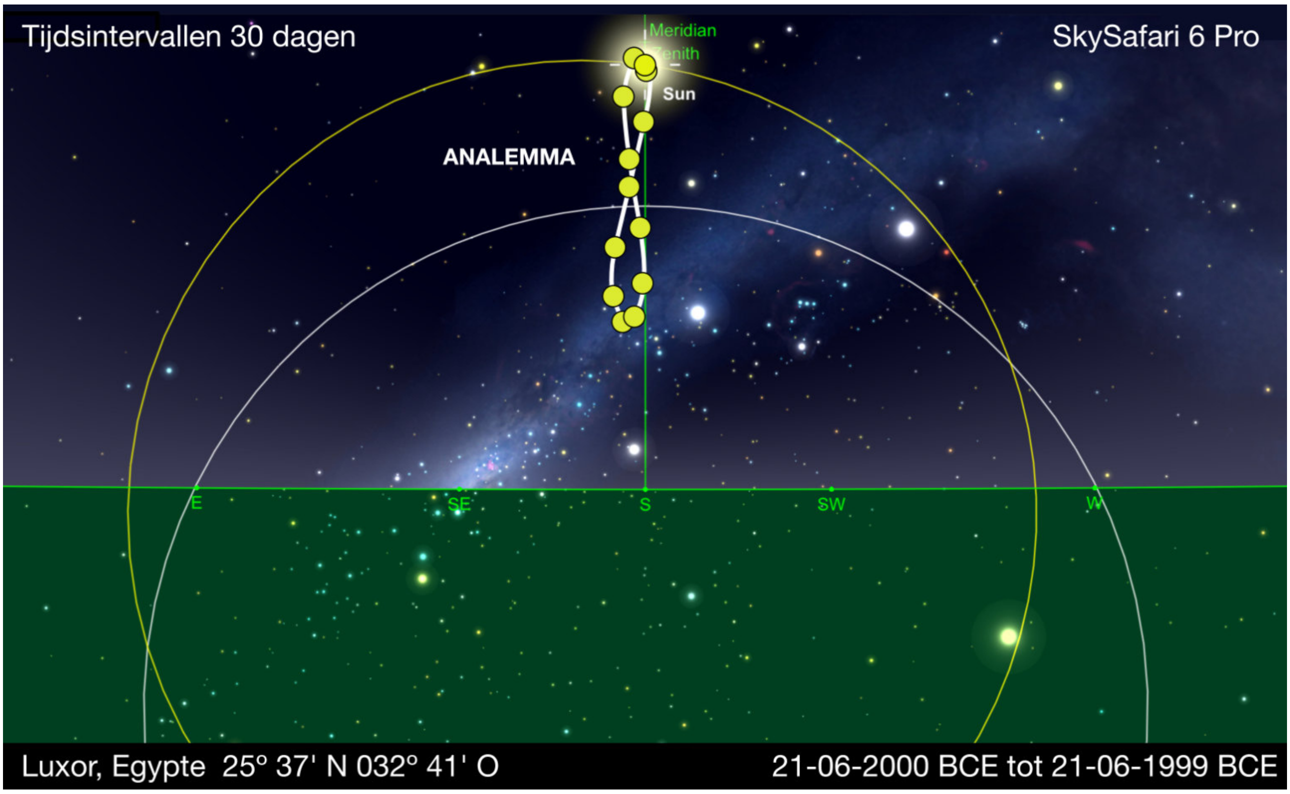
In de chronologie en bij vergelijkingen tussen zonnejaren en de huidige westerse jaren wordt sinds enige tijd als referentie de epoche (periode, tijdperk) gebruikt die periodiek wordt vastgesteld.

Voor het begin van onze jaartelling was dit epoche 0.0 CE (AD) met een gemiddelde duur van het zonnejaar van 365,24231 dagen (365d: 5u: 49m: 44,5s), voor de epoche 1900.0 CE was dit 365,242315 (365d: 5u: 48m: 56 s) en voor epoche 2000.0 is de gemiddelde duur bepaald op 365,24219 dagen (365d: 5u: 48m: 45s) (zie Meeus 1992: 42).

4.10 Verschillende namen voor hetzelfde

In de literatuur wordt het natuurlijke zonnejaar regelmatig onder verschillende namen vermeld, alsof er verschillende soorten zonnejaren zouden bestaan of hebben bestaan. Veel voorkomend zijn het tropisch zonnejaar, het gemiddelde zonnejaar, het ware zonnejaar, het vage of zwervende jaar, het agrarische jaar en het siderische zonnejaar. Er is echter maar één natuurlijk zonnejaar van 365 zonnedagen.

Het tropisch jaar
Van oorsprong werd de naam tropisch jaar gebruikt om een bepaalde methode van meten aan te duiden. Met het tropisch zonnejaar werd vroeger de duur van lente-equinox naar lente-equinox bedoeld maar deze interpretatie is al sinds het midden van de 20e eeuw verlaten en vervangen door het lentepunt. Kepler vermeldde al in 1627 CE dat een tropisch jaar niet aan de hand van de equinoxen moet worden gemeten.



Afbeelding 4.9 - Analemma van de zon in een volledige baan van 365 zonnedagen van de aarde rond de zon over 360° in Luxor (Egypte) weergegeven met tijdsintervallen van 30 zonnedagen (daglicht is uitgeschakeld).

Zoals boven uiteengezet wordt met deze wijze van meten alleen een specifiek moment van een seizoenpunt uit de totale, maar onregelmatige, cyclus van het zonnejaar gemeten. En dit moment in de omloop is niet representatief voor de duur van de volledige omloop. Met de methode van Danjon (Meeus 1992: 40) daarentegen wordt wel een volledige omloop van 360° gemeten wat een veel nauwkeuriger waarde geeft. Dit wordt een gemiddeld zonnejaar genoemd. De naam tropisch jaar is dus feitelijk een overbodige naam geworden waarvoor gewoon het natuurlijke zonnejaar kan worden gebruikt.

Wanneer deze ogenschijnlijke jaarlijkse omloop van 360° van de zon op een meridiaan met behulp van een astronomisch programma zoals SkySafari 6 Pro wordt gevisualiseerd met tijdsintervallen van 30 dagen, wordt het ogenschijnlijk lusvormige verloop van de zon (analemma) in een zonnejaar zichtbaar. Uitgaande van het hoogste punt van de zon voor zowel begin- als eindpunt tijdens de zomerzonnewende op 21 juni 2000 BCE in Luxor (Egypte) tot aan hetzelfde hoogste punt op 21 juni 1999 BCE, is in afbeelding 4.9 een volledig zonnejaar in beeld gebracht.

Het gemiddelde zonnejaar
Bij een gemiddeld zonnejaar is de duur beschreven van een volledige omloop van 360° van de zon gemeten op een bepaalde meridiaan. Deze volledige omloop van de zon is het gemiddelde van de 4 metingen van de seizoenpunten over één of meerdere jaren tezamen (zie ook 4.5), tegenwoordig uitgedrukt in een epoche met een periode of jaartal.

Om de 30 jaar wordt een nieuw gemiddeld zonnejaar in een epoche vastgesteld. De laatst vastgestelde is epoche 2000.0 wat een gemiddelde is over de 30 jaar daarvoor. En zoals we hierboven hebben gezien wordt ook het seizoenjaar in een omloop van 360° van een bepaald seizoenpunt naar hetzelfde seizoenpunt het jaar daarop gemeten.

Het ware zonnejaar
Daarnaast wordt ook wel het 'ware' zonnejaar gebruikt wanneer het gaat om de werkelijke, gemeten duur van een bepaald zonnejaar. Hier zit echter de suggestie in opgesloten dat er ook een onecht zonnejaar zou bestaan. Er is en blijft uiteraard maar één echt natuurlijk zonnejaar dat echter wel op verschillende manieren kan worden gemeten. En het zijn degenen die deze metingen uitvoerden, die er soms een zelf verzonnen naam aan hebben gegeven. Op zich natuurlijk handig wanneer dan wel duidelijk wordt gemaakt wat er precies gemeten is.

Helaas ontbreekt dit meestal en worden dergelijke verzonnen namen door anderen als een soort waarheid overgenomen en gaan vervolgens een eigen leven leiden. Opmerkelijk is dat in de literatuur geen enkele auteur aan de hand van controleerbare feiten bewijst dat er bij de Ouden een ander jaar zou hebben bestaan dan het enige echte natuurlijke zonnejaar van 365 zonnedagen.

Het vage of zwervende jaar
Soms kom je benamingen tegen als 'het vage jaar' of 'het zwervende jaar' waarmee dan om onbegrijpelijke redenen een natuurlijk zonnejaar van 365 zonnedagen wordt bedoeld. De gebruikers van deze fantasievolle benaming vermelden meestal vervolgens ten onrechte dat het ware zonnejaar een duur heeft van 365,242189 dagen. Maar dit is dan wel gemeten volgens de Gregoriaanse tijdrekening.

Deze auteurs zijn duidelijk niet op de hoogte van het feit dat ze hier niet over twee verschillende soorten zonnejaren praten, maar over hetzelfde zonnejaar in twee verschillende systemen van tijdrekening. Enerzijds de tijdrekening van het natuurlijke zonnejaar zelf met 365 zonnedagen en anderzijds de tijdrekening van ons westerse jaar waarin een zonnejaar volgens de westerse standaardtijd in epoche 2000.0 een duur heeft van 365,242189 standaarddagen van 24 uren. Soms ook wordt er nog bij vermeld dat het om een 'zwervend' jaar zou gaan. Een variant dus op de stelling waar ik mee begonnen ben in hoofdstuk 2. Waarschijnlijk voortkomend uit onwetendheid maar wel pure fantasie.

Het agrarische jaar
Ook wordt met regelmaat en zonder steekhoudende argumenten het 'agrarische jaar' genoemd. Ook dit is een fictie en meer een poging om iets te beschrijven en benoemen wat in feite een afgeleide is van het zonnejaar in relatie tot bepaalde agrarische hoogtepunten of hiermee gepaard gaande festiviteiten binnen dat jaar. Gezien het tijdperk waarin men dit 'agrarische jaar' plaatst blijkt het in de praktijk altijd om de seizoenpunten van het natuurlijke zonnejaar te gaan met onlosmakelijk daaraan verbonden de plaatselijke meteorologische weersomstandigheden zoals lente, zomer, herfst en winter. Maar ieder bewijs voor het bestaan van een praktisch bruikbaar agrarisch jaar ontbreekt. Wat zou ook een boer die niet kan lezen of schrijven met een kalender moeten doen?

Het siderische zonnejaar
Naast het tellen van zonnedagen werd de duur van het zonnejaar in de tijd van de oude Assyriërs, Babyloniërs en Grieken ook gemeten aan de hand van het na een jaar terugkeren van de zon ten opzichte van een vaste ster. In feite is dit wat wij nu het sterrenjaar noemen. Maar omdat de Ouden het sterrenjaar niet kenden was dit voor hen de duur van het zonnejaar. Het is met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid dat de in de oude literatuur genoemde duur van een zonnejaar met behulp van deze methodiek is gemeten met als zeer waarschijnlijk instrument de 360-dagen telling die in Hoofdstuk 5 nader wordt toegelicht. Dit wordt ook wel het siderische zonnejaar genoemd.

In de vertaling van en bespreking door Otto Neugebauer (1962: 265) van een deel van het werk van de Islamitische astronoom Thâbit ben Qurra uit de 9e eeuw CE, is vermeld dat de duur van het zonnejaar door het meten van de baan van de zon vanaf een punt in de zodiak tot hetzelfde punt in de zodiak ”365 dagen en iets minder dan een vierde van een dag” was. Maar in feite werd hier het sterrenjaar gemeten als het zonnejaar en is ook als zodanig de geschiedschrijving ingegaan. Ook in de Alfonisine Tables (Chabás and Goldstein 2003: 140) blijkt het zonnejaar op een vergelijkbare wijze te zijn berekend, maar dan in relatie tot het aphelium.

Het anomalistisch zonnejaar
Een anomalistisch jaar is een volledige ellipsvormige omloop van de aarde in 360º rond de zon van perihelium tot perihelium. Dit perihelium is het punt van deze baan waar de aarde het dichtst bij de zon staat. Uit de oude literatuur blijkt dat deze omloop over het perihelium werd gemeten en vermeld als de duur van het zonnejaar. De duur hiervan is volgens Seidelman (2006: tabel 15.3 p. 698) 365,25964 dagen westerse standaardtijd. In duur is dit vrijwel gelijk aan het siderische jaar (sterrenjaar) dat over 360º een jaarlijkse omlooptijd heeft van 365,25636 dagen westerse standaardtijd. Het anomalistisch zonnejaar heeft dus ongeveer dezelfde duur als het sterrenjaar (Neugebauer 1962: 264, 266).

Tellen van zonnetijd
Het zal voor iedereen duidelijk zijn dat in de tijd van de oude Egyptenaren, Babyloniërs en Grieken alleen de natuurlijke zonnetijd kon worden gemeten. Er bestond nu eenmaal niets anders. Bovendien waren de weinige instrumenten die beschikbaar waren niet bepaald voorbeelden van nauwkeurigheid. Daar komt nog bij dat men pas in de 2e eeuw BCE geleidelijk aan het besef kreeg dat er naast een zonnejaar nog een andere eenheid van tijd kon worden onderscheiden, namelijk het sterrenjaar. Het is daarom onmogelijk dat door directe observaties en metingen van de zon een duur van de omloop van 360º zou zijn verkregen van 365,25 dagen. Er moet dus een andere methodiek zijn toegepast. In de volgende twee hoofdstukken zal duidelijk worden op welke manier de Ouden aan deze duur zijn gekomen.

4.11 Het enige echte zonnejaar

Iedereen die zich serieus bezighoudt met tijdrekening, kalenders of chronologie weet dat er altijd maar één zonnejaar heeft bestaan en bestaat dat al sinds mensenheugenis 365 zonnedagen in een omloop van 360º telt.

Als gevolg van het langzaam afnemen van de rotatiesnelheid van de aarde, waren er in het zeer verre verleden meer zonnedagen in een jaar en zullen het er in een zeer verre toekomst minder worden (Meeus 1992: 42). Als gevolg van onjuiste interpretaties en vermelden van halve waarheden is in de loop van de tijd een vertekend beeld ontstaan van het natuurlijke zonnejaar. In de hoofdstukken 8 en 9 zal ik hier dieper op ingaan.

5 De maankalender

Hoewel de maankalender zelf geen invloed heeft op de in hoofdstuk 2 genoemde stellingen betreffende het zonnejaar en de equinox, is de synchronisatie tussen maankalender en zonnejaar wel van groot belang omdat dit de bron van het ontstaan van de misverstanden lijkt te zijn. Dit betreft met name de afstemming van de maankalender op het zonnejaar met behulp van de 19 jaren cyclus die ten onrechte is toegeschreven aan de Griekse astronoom Meton. Het is deze, later door de Griekse astronomen Geminos en Ptolemy en via Arabische vertalingen aan ons overgeleverde, cyclus waar vrijwel zeker de oorsprong ligt van de onjuiste interpretatie van de duur van het zonnejaar.

De oude volken op de wereld die een kalender hadden ontwikkeld zijn meestal begonnen met een maankalender (Depuydt 1997: 23). Op zich niet zo verwonderlijk gezien de altijd prominent aanwezige maan met z'n korte omloop en verschillende karakteristieke vormen of fasen. Bij het meten van tijd neemt de maan een positie in tussen de dag en het jaar. En zoals voor zonnejaar en zonnekalender geldt, geldt ook voor maanmaanden en maankalender dat wanneer men zich zou beperken tot alleen dit systeem voor het tellen van tijd er geen problemen optreden. Een mooi voorbeeld hiervan is de zuivere islamitische maankalender met volledig hierop gebaseerde feest- en gedenkdagen. Het is dankzij het expliciete verbod in de Koran van het invoegen van schrikkeldagen (soera 9-At-Tawbah-37 Het Berouw Vers-37) dat deze maankalender in z'n meest zuivere vorm is kunnen blijven bestaan omdat er geen enkel verband aanwezig is met een zonnejaar.

5.1 Ontwikkeling maankalender

Een ander voorbeeld van een nog steeds gebruikte maankalender is de joodse kalender. Deze werd rond de 6e eeuw BCE overgenomen van de Babyloniërs. Dit is echter geen zuivere maankalender maar een maan-zon-kalender omdat regelmatig schrikkelmaanden moesten en moeten worden ingevoegd om in de pas te blijven lopen met de seizoenen van het zonnejaar. Ze maakten en maken hiervoor gebruik van de zogenoemde 19 jaren cyclus die de Babyloniërs en later ook de Grieken gebruikten. Dit werd uiteindelijk de 19 jaren cyclus van Meton genoemd, hoewel Meton alleen maar een eigen variant op deze reeds bestaande cyclus heeft bedacht.

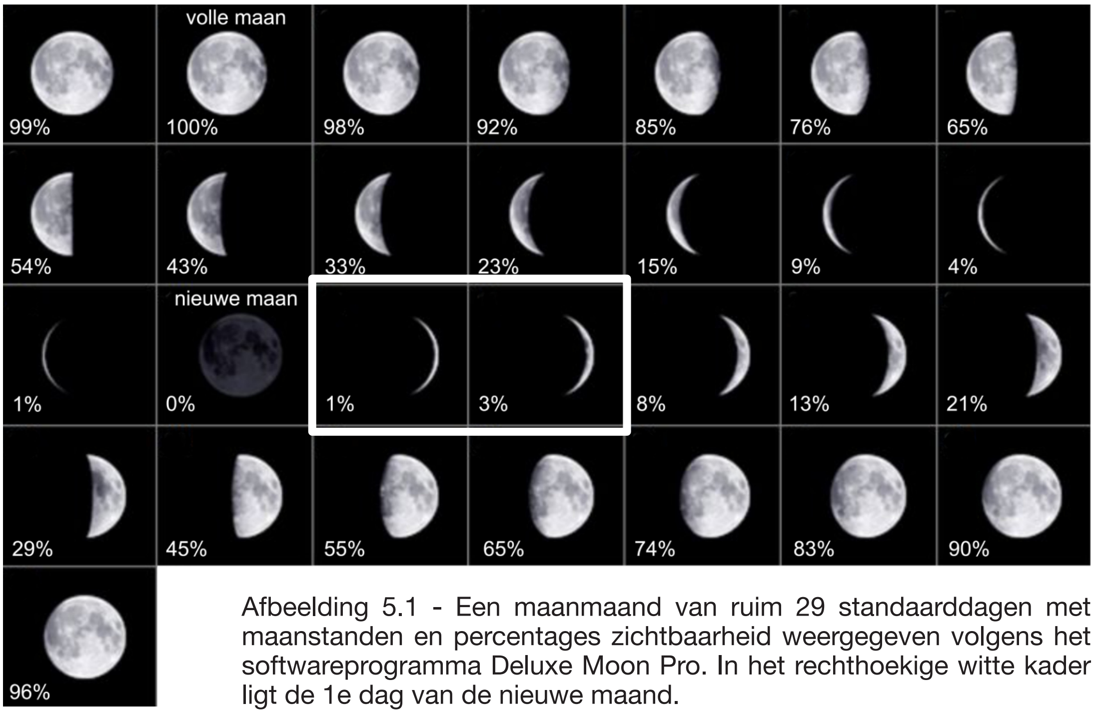
De maankalender is opgebouwd uit 12 maanmaanden van 29 en 30 dagen en telt meestal 354 dagen. Maar ook natuurlijke maanmaanden zijn niet regelmatig want ze kunnen omgerekend in westerse standaardtijd een duur hebben van 29,26574 (3 juni -1602) tot 29,93 dagen (27 november -1868; NASA 2009: 44) met een gemiddelde van 29,53059 westerse standaarddagen (NASA 2009: 35). Men moet zich goed realiseren dat het duizenden jaren geleden bij de ontwikkeling van de eerste maankalenders altijd om zonnedagen ging en er in principe dus in echte zonnetijd moest worden gerekend. Het verschil in tijd tussen het aantal zonnedagen en westerse standaarddagen binnen een maanmaand is niet zo groot. Maar in een cyclus van 19 jaren kan dit flink oplopen. Ook mag niet vergeten worden dat een dag in de oudheid een iets andere duur had dan onze huidige dag omdat er in die tijd geen gelijkmatig lopende uurwerken bestonden.

Tot nu toe is nog nergens overtuigend bewijs gevonden waaruit duidelijk wordt welke telling van dagen als eerste is ontstaan, die van de zon, van de maan of tegelijkertijd. Duidelijk is wel dat nadat de eerste tellingen van maandagen en de vondst van het vastleggen van deze tellingen, in de vorm van wat wij nu kalenders noemen, een vast patroon hadden gekregen, ook de wens tot afstemming hiervan op de duur van het zonnejaar ging ontstaan. Men wilde vooral in de pas blijven lopen met de seizoenen en de eerste dag van het kalenderjaar (nieuwjaarsdag) gelijk laten lopen met een bepaald punt van het zonnejaar. Het hoeft uiteraard geen toelichting dat men hiervoor dan uiteraard ook de duur in dagen van een zonnejaar moest kennen.

Ik ben ervan overtuigd dat de Ouden naast het tellen van maandagen ook tegelijk de zonnedagen telden. Want een kind snapt dat alleen wanneer je de duur in dagen van de omloop van beide hemellichamen weet, je naar overeenkomsten of verschillen kunt gaan zoeken.

Voor de meeste vroegere en huidige gebruikers van maankalenders begon en begint de telling van de dag bij het ondergaan van de zon. Als eerste dag van een maanmaand werd en wordt vaak, maar niet altijd, de eerste smalle maansikkel (1% - 3%) na nieuwe maan (witte kader afbeelding 5.1) gebruikt die wordt gezien als de geboorte van een nieuwe maanmaand. Naast de oude Babylonische, Egyptische en Griekse maankalenders, begonnen ook de oude Chinese, Japanse, joodse en islamitische maanmaanden met de eerste smalle maansikkel na nieuwe maan. Overigens werken de joodse en islamitische maankalenders nog steeds zo.

De meeste volken met een maan-zon-kalender ondervonden steeds weer opnieuw problemen met de afstemming van hun maankalender op het zonnejaar. Want zowel de maanmaanden als de zonnedagen worden door allerlei variabelen beïnvloed en zijn daarom onregelmatig in duur. Om dit te verbeteren werden verschillende cycli ontwikkeld en uitgeprobeerd waarvan de twee meest bekende de 19 jaren cyclus van Meton en de 76 jaren cyclus van Kallippos zijn. Beiden zullen hierna worden besproken omdat deze naar mijn mening aan de basis liggen van de misvattingen met betrekking tot de duur van het zonnejaar.



Afbeelding 5.1 - Een maanmaand van ruim 29 standaarddagen met maanstanden en percentages zichtbaarheid weergegeven volgens het softwareprogramma Deluxe Moon Pro. In het rechthoekige witte kader ligt de 1e dag van de nieuwe maand.

5.2 De 19 jaren cyclus van Meton

De zogenoemde 19 jaren cyclus van Meton van Athene is door de Griekse astronomen Geminos en Ptolemy via Arabische vertalers aan ons overgeleverd. Van deze twee was het de Griekse astronoom Geminos van Rhodos (Evans and Berggren 2006: 183-185) die een vrij complete structuur en werking van de cyclus heeft vermeld. Ptolemy echter vermeldt in zijn Almagest slechts de twee hoofdelementen van Meton in zijn vergelijking met het werk van andere astronomen zoals Kallippos en Hipparchus (Toomer 1984: 139). Het werk van Ptolemy is via verschillende Arabische vertalingen, o.a. de Italiaanse vertaler Gerard van Cremona (Bridges and Jones 1914: 70), pas in de middeleeuwen in Europa terecht gekomen. De vraag is dus of dit nog de oorspronkelijke vorm is.

Ptolemy heeft onder een aantal hedendaagse wetenschappers geen al te goede naam (Newton 1977; Swerdlow 1980: 292; Bowen & Goldstein 1991: 234; Britton 1992: hoofdstuk 2; Gingerich 2002; Thurston 2002: 63; Toomer 1996: 84). Overigens kenden de oude Chinezen deze 19 jaren cyclus ook (Cullen 2017: 16). Wanneer en door wie deze cyclus in China is ontdekt is echter niet bekend. Ook de joodse maankalender, overgenomen van de Babyloniërs, werkt nog steeds met deze 19 jaren cyclus.

De oude Griekse astronomen waren voortdurend op zoek naar methoden om hun maankalenders zo goed mogelijk gelijk te laten lopen met de seizoenen van het zonnejaar. Dit omdat veel Griekse feesten een direct verband hadden met deze seizoenen. Voor Meton als astronoom was dit ongetwijfeld ook het geval en was ook hij, net als vele anderen, op zoek naar een zo goed mogelijk in de pas lopen van de maankalender met het zonnejaar. Met name het vasthouden van het beginpunt van de kalender en de op de seizoenen afgestemde feesten en activiteiten waren een belangrijke reden in deze zoektocht. Het is de logica zelf dat om zo'n berekening te kunnen maken uiteraard wel de duur van een zonnejaar bekend moet zijn omdat anders niet is te bepalen op welk moment een aantal maanmaanden gelijk is aan een bepaald aantal zonnejaren.

Meton van Athene wist meer dan waarschijnlijk ook van het bestaan van de schematische 19 jaren cyclus van de Babyloniërs die deze cyclus al minstens sinds 633 BCE gebruikten (Parker and Dubberstein 2007: 6; Bowen and Goldstein 1988: 42). De drie hoofdelementen van de 19 jaren cyclus zoals toegepast door Meton zijn aan ons overgeleverd door Geminos en Ptolemy. Maar dit geldt dit niet voor de ideeën, redenatie en werkwijze van Meton die hem tot zijn vergelijking brachten, want die vermeld de geschiedenis helaas niet. Maar ook Meton kon alleen maar met zonnejaren en zonnedagen werken omdat er eenvoudig niets anders bestond in zijn tijd.

Dagen werden tot ver na de tijd van Ptolemy (2e eeuw CE) uitsluitend gebruikt als zonnedagen van 24 equinox-uren (zie onder 3.5). Dit betekent dat een zonnedag was verdeeld in 24 gelijke delen en soms verder onderverdeeld (Bowen and Goldstein 1991: pp. 233-254) of dat ze als eenheden van ieder 15 tijdgraden (een dag was 360 tijdgraden) werden vermeld. In de Almagest van Ptolemy bijvoorbeeld, zijn de tijdstippen van alle 94 door hem genoemde observaties uitgedrukt in equinox-uren waarbij delen van zo'n uur in de vorm van breuken als 1/4, 5/6, 1/5, 1/3, e.d. zijn vermeld (Toomer 1984: 7; Pederson 2011: Appendix A). De 19 jaren cyclus is gedurende de hele Seleucid periode (Grieks-Egyptische periode 312 BCE - 63 CE) in gebruik geweest (Neugebauer 1948: 209; Parker and Dubberstein 2007: 6).).

5.3 Basisprincipe 19 jaren cyclus

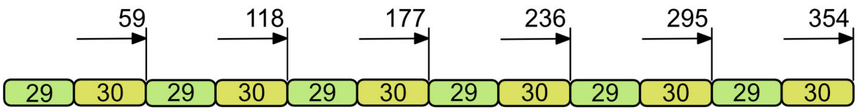
Verschillende volken in de oudheid hadden ergens in de tijd en vaak onafhankelijk van elkaar ontdekt dat maan en zon samen ook een cyclus hebben. Een bepaalde maanfase op een bepaald seizoenpunt van een zonnejaar, zoals bijvoorbeeld volle maan, komt na 19 zonnejaren of 235 maanmaanden weer terug op bijna hetzelfde seizoenpunt (Brecher 1981: 52; Jones 2017: 78). Dit principe blijkt ook te zijn gevonden in het beroemde Antikythera mechanisme (Alexander Jones 2017: 78, 213).

Een zeer oude (± 1230 BCE) vondst van een zon-maan-cyclus van 19 jaren is die die door het antieke volk de Hettieten als kalender werd gebruikt en is uitgebeeld op de wanden van een kalksteengebergte in Yazililaya nabij Hattusa in het tegenwoordige Turkije (Zangger 2019: 5-38). Hier zijn in de vorm van in het gesteente gebeeldhouwde goden de 12 maanmaanden, de maximaal 30 dagen per maand en de 19 zonnejaren uitgebeeld.

Kalenders, dus ook de maankalender met de 19 jaren cyclus, moeten altijd voldoen aan een aantal voorwaarden (Goldstein & Bowen 1989: 277). Allereerst moet een kalender een beginpunt (epoche) hebben van waaruit jaren, maanden en dagen worden geteld. Ook moet er een dag zijn waarmee een jaar of een maand altijd begint evenals een vast moment waarop een dag begint. Verder moet er een schema zijn voor het waar nodig invoegen van eenheden van tijd (schrikkeldagen of schrikkelmaanden) die zoveel mogelijk op uniforme wijze over de kalender moeten worden verdeeld (Jones 2000: 142). Ook moet er een procedure zijn voor besluiten betreffende waarnemingen om het aantal maanden per jaar en de cyclus van de kalender te bepalen.

Weten dat 235 omlopen van de maan in duur bijna gelijk zijn aan 19 zonnejaren is één ding, maar hoe deze 235 maanmaanden verdeeld moesten worden over de 19 jaren was een ander verhaal. Bovendien werd er in principe met hele dagen gerekend zonder fracties.

Omdat men uit ondervinding wist dat een maanmaand ongeveer 29,5 zonnedagen duurt en met hele getallen werd gerekend, werden steeds twee maanmaanden samengevoegd (2 x 29,5 = 59) die vervolgens als een vast duo van 29 en 30 dagen werd gebruikt, tezamen 59 dagen. In een zonnejaar pasten 6 van deze duo's van 59 dagen die tezamen als 12 maanmaanden ook wel 'maanjaar' worden genoemd. Een maanjaar heeft in totaal dus gewoonlijk 354 zonnedagen (afbeelding 5.2).



Afbeelding 5.2 - Standaard 'maanjaar' van 12 maanmaanden met 354 zonnedagen verdeeld in 6 duo's van 59 zonnedagen.

Iedere maanmaand had in theorie als vast beginpunt de eerste zeer smalle maansikkel die de 1e of 2e dag na nieuwe maan zichtbaar was (Steele 2018: 100; Samuel 1972: 57; Waerden 1984a: 107; afbeelding 5.1; Ossendrijver 2015: 1867). Dit was en is nog steeds een zeer belangrijke streefwaarde voor het beginpunt van een maanmaand in een maankalender. Bij de Babyloniërs begon het jaar met de dag 1 *Nisan (Nisanu)* op of kort na de lente-equinox. In Athene begon het jaar op *Hekatombaion* 1 en viel op de dag van de heliacale opkomst van de Plejaden en de zomerzonnewende (Bowen & Goldstein 1989: 45).

De 12 maanden van de maankalender hadden ieder een vaste naam en vaste volgorde die niet zomaar kon worden veranderd zonder de hele kalender overhoop te gooien. De Babyloniërs hielden het verloop van de maanmaanden ook bij door iedere maanmaand op 6 vaste momenten in de tijd metingen te doen (Huber and Steele 2007: 3). Deze 6 momenten werden door Sachs (1948: 281) de "Lunar Six" genoemd. Hiermee werden de verschillen berekend tussen de opkomst en ondergang van zon en maan, alsmede van bijna nieuwe en volle maan (Huber 2017: 27). Het ligt voor de hand dat ze op basis van deze metingen de maanduur en het begin van een nieuwe maan bepaalden en zo nodig corrigeerden. Het invoegen van extra maanden of dagen mocht ook alleen volgens een aantal vastgestelde regels gebeuren (Ossendrijver 2015: 1867). Naast de maankalender van de Babyloniërs en joden was hetzelfde van toepassing bij de maankalender van de Grieken (zie afbeelding 5.3).

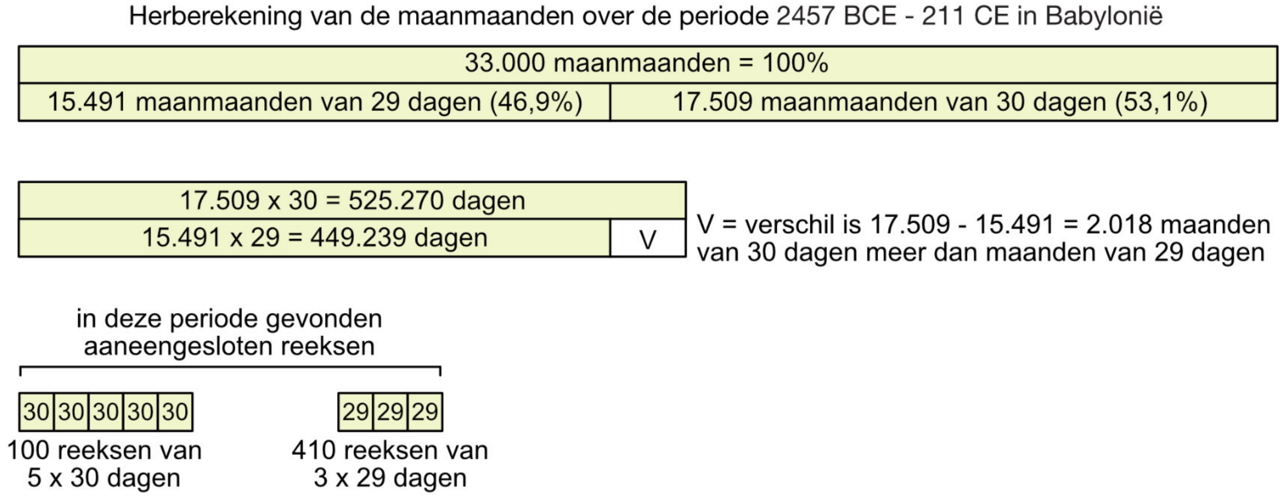
Het mag duidelijk zijn dat dus niet willekeurig ergens een maand of een aantal dagen kon worden ingevoegd. Voor de 7 in te voegen schrikkelmaanden was daarom een theoretisch, min of meer vast, patroon bedacht waarbij in de 19 jaren cyclus iedere ingevoegde maanmaand gewoonlijk een duur had van 30 dagen (Englund 1988: 125). Voorwaarde was wel dat deze 7 schrikkelmaanden op een uniforme manier over de 235 maanmaanden en 19 zonnejaren verdeeld moesten worden. Daarbij mag niet worden vergeten dat in die tijd ook deze maandagen in feite zonnedagen waren.

5.4 Theorie en werkelijkheid

Het regelmatig om en om gebruiken van de maanmaanden van 29 en 30 dagen in de 19 en 76 jaren cycli in met name Babylon moet vooral als een theoretisch toegepaste methodiek worden gezien. Want door de onregelmatigheid van de duur van de maanmaanden en omdat de eerste smalle maansikkel door weersomstandigheden lang niet altijd zichtbaar zal zijn geweest, moeten de Ouden in werkelijkheid voortdurend bezig zijn geweest met het afstemmen op de werkelijkheid.

De theorie kwam inderdaad lang niet altijd overeen met de werkelijkheid. Dit is aangetoond door een onderzoek in 1982 van Peter Huber (2017: 19-68) die voor Babylon alle eerste smalle maansikkels van de eerste dagen van de maanmaanden, tussen de jaren -2456 (2457 BCE) en +212 (211 CE), opnieuw heeft berekend. Zijn eerste conclusie was dat in deze onderzochte periode geen maanmaanden van 28 dagen voorkwamen en maanmaanden van 31 dagen slechts sporadisch met ongeveer 1 in de 100 jaar. Dus statistisch verwaarloosbaar.

De periode 2457 BCE tot en met 211 CE telt 2668 jaren van 365 dagen. Binnen deze periode heeft Huber 33.000 eerste smalle maansikkels opnieuw berekend. Hiervan behoorden er 15.491 (46,9 %) tot de maanden van 29 dagen en 17.509 (53,1 %) tot de maanden van 30 dagen. Er zijn dus 2.018 maanmaanden van 30 dagen meer dan maanmaanden van 29 dagen (afbeelding 5.3).



Afbeelding 5.3 - De hoofdelementen van de herberekening door Huber (2017: 24-26) van de maanmaanden in de periode 2457 BCE - 211 CE in Babylonië.

We weten dat in de 19 en 76 jaren cycli 7 respectievelijk 28 schrikkelmaanden werden ingevoegd. Van de 19 jaren cyclus weten we uit de historische bronnen dat de schrikkelmaanden meestal van 30 dagen waren (Englund 1988: 125). En als we voorlopig aannemen dat dit ook het geval was voor de 76 jaren cyclus dan gaat het daarbij om 28 schrikkelmaanden van 30 dagen. Theoretisch wordt dan in de 19 jaren cyclus van 235 maanmaanden om de 235 ÷ 7 = 33,57 maanden een schrikkelmaand ingevoegd. Bij de 76 jaren cyclus is dit 940 ÷ 28 wat eveneens om de 33,57 maanden is. Dit houdt, alweer theoretisch gezien, in dat er 33.000 ÷ 33,75 = 985 maanmaanden van 30 dagen in deze 76 jaren cyclus moeten zijn.

Dus van de 2.018 maanmaanden van 30 dagen meer moeten er theoretisch 985 in mindering worden gebracht voor de schrikkelmaanden van 30 dagen. Dit betekent dat er in de onderzochte periode voor 2.018 - 985 = 1.033 maanmaanden van 30 dagen resteren die niet in het gebruikelijk patroon van de duo's van 59 (29 + 30) passen. De vraag is echter of dit ook werkelijk zo gebeurde.

Want Huber (2017: 26) stelde ook vast dat er 410 reeksen voorkwamen met 3 opeenvolgende maanden van 29 dagen en 100 reeksen van 5 opeenvolgende maanden van 30 dagen (afbeelding 5.3). Hieruit blijkt wel dat er zeer regelmatig verschuivingen van de 29 en 30 maanden in de maankalenders moeten hebben plaatsgevonden om in het natuurlijke ritme van zowel de maanmaanden als de zonnejaren te kunnen blijven.

Dit onderstreept nog eens de bevindingen van Sachs (1948: 281) betreffende de "Lunar Six" die er voor dienden om met behulp van zowel observaties als voorspellende berekeningen waar nodig aanpassingen uit te voeren om in de pas te blijven lopen met het zonnejaar. Het zonnejaar zelf, de seizoenen en seizoenpunten werden dan weer bepaald door observaties van de 12 sterrenbeelden in de zodiak (White 2014: 43-55; Verderame 2017: 126, 137; Steele 2017: 74).

5.5 De interpretatie van Geminos en Ptolemy

Ptolemy (Toomer 1984: 12) vermeldt alleen 19 zonnejaren, 235 synodische maanmaanden en 6940 dagen die deze cyclus zou moeten hebben. Geminos (Evans and Berggren 2006: 184) vermeldt aanvullend dat de 235 synodische maanmaanden zouden bestaan uit 110 'holle' synodische maanmaanden van 29 dagen en 125 'volle' synodische maanmaanden van 30 dagen.

In totaal dus (110 x 29) + (125 x 30) = 3190 + 3750 = 6940 maandagen en tevens zonnedagen. Ook vermeldt Geminos nog nadrukkelijk dat in de 19 jaren 7 in te voegen ('embolistische') maanden waren opgenomen. Belangrijk gegeven daarbij is dat niet is vermeld uit hoeveel dagen deze schrikkelmaanden zouden moeten bestaan. Bovenstaande informatie is in afbeelding 5.4 schematisch weergegeven.

19 zonnejaren
235 maanmaanden waarvan er 7 schrikkelmaanden zijn
= 110 'holle' maanmaanden van 29 dagen + 125 'volle' maanmaanden van 30 dagen
= 6940 zonnedagen

Afbeelding 5.4 - De hoofdelementen van de 19 jaren cyclus van Meton zoals die zijn beschreven door Geminos en Ptolemy.

De 19 zonnejaren hadden in die tijd in totaal 19 x 365 = 6935 zonnedagen. Volgens Geminos had een zonnejaar op basis van de gegevens van Meton echter een duur van 365 5/19 (= 365 1/4 + 1/76 = 365,2632) dagen (Heath 1913: 293; Evans and Berggren 2006: 86, 176, 183) en komt daarom dus uit op 19 x 365,2632 = 6940,0008 wat afgerond 6940 zonnedagen is. Dus 5 dagen meer. Geminos vermeldt verder dat de duur van een zonnejaar volgens hem echter 365 1/4 zou moeten zijn wat dan uitkomt op 365,25 x 19 = 6939,75 dagen. Afgerond is dit ook 6940 dagen.

De door Geminos vermelde duur van het zonnejaar van 365 5/19 (365,2632) dagen is volgens mij niet afkomstig van Meton zelf maar berekend door Geminos door de 6940 dagen te delen door de 19 jaren. En dat is 6940 ÷ 19 = 365,26315 dagen, dus precies de genoemde 365 5/19 dagen.

Overigens vermeldt Geminos hierbij niet de naam van Meton zelf, maar wel die van Euktēmōn, de tijdgenoot en collega van Meton. Daarbij wordt tegelijk ook de naam Kallippos genoemd die een eeuw na Meton zijn 76 jaren cyclus ontwikkelde die bijna helemaal gebaseerd was op 4 x de 19 jaren cyclus van Meton maar, naar wordt vermeld, iets nauwkeuriger zou zijn. Hierover later meer.

Bizar is echter dat de door Geminos en Ptolemy genoemde duur van een zonnejaar van 365 1/4 (365,25) dagen sterk lijkt op de duur van een zonnejaar volgens onze huidige westerse tijdrekening met een gemiddelde van 365,2422 dagen per jaar. Maar dit is alleen mogelijk met dagen van precies 24 uren waarvoor je een gelijkmatig lopend uurwerk nodig hebt in een totale omloop van 400 jaren met als fundament een zonnejaar van 365 dagen. En over deze kennis beschikten de oude Griekse astronomen zoals Meton, Kallippos en Geminos toch echt niet. Het is daarom onmogelijk dat de door Geminos en Ptolemy genoemde duur van een zonnejaar kan zijn gevonden door observaties van de zon zelf. De enige voor de hand liggende mogelijkheid is dat de duur van het zonnejaar puur rekenkundig is bepaald of met gebruik van de zodiak, dus het siderische of zodiakale zonnejaar.

Bijzonder is ook dat Geminos en Ptolemy maar 1 observatie door Meton van de zomerzonnewende op 24 juli in 432 BCE (Juliaans) vermelden. Het kan niet anders dan dat Meton toch minstens 2 of meer observaties moet hebben uitgevoerd om tot de duur van een zonnejaar te komen. Nog afgezien van hoe lastig het is om precies de juiste dag van een zonnewende te bepalen blijkt uit de genoemde observaties wel dat de duur is bepaald door vergelijkingen met equinoxen (zie schema afbeelding 5.8). Hiervan weten we dat er verschillen in duur zijn met de andere seizoenpunten (zie onder 4.7). Ook dit wijst er op dat de door Geminos en Ptolemy genoemde en aan Meton toegeschreven duur van het zonnejaar rekenkundig is bepaald.

Wanneer alleen de door Geminos en Ptolemy beschreven 19 zonnejaren en 235 maanmaanden worden omgerekend in onze huidige westerse standaardtijd, dan ziet de vergelijking eruit zoals in afbeelding 5.5 is weergeven. Maar dan wel omgerekend naar de huidige westerse standaardtijd die in de tijd van Geminos en Ptolemy nog lang niet bestond.

19 standaardjaren van 365,24666 (epoche 747 BCE*) = 6939,68654 standaarddagen
= 235 maanmaanden van 29,530594 (epoche 747 BCE*) = 6939,68959 standaarddagen

Afbeelding 5.5 - De hoofdelementen van de 19 jaren cyclus van Meton omgerekend naar westerse standaardtijd op basis van de door Ptolemy gehanteerde epoche 747 BCE* (volgens Pederson 2011: Appendix B). Een bijna perfecte combinatie.

Uit afbeelding 5.5 blijkt duidelijk dat het totale aantal dagen van de 19 zonnejaren en die van de 235 maanmaanden volgens de berekening in westerse standaardtijd in hoge mate overeenstemmen. Een bijna perfecte verhouding die bewijst dat de 19 en 235 de juiste waarden zijn. De 235 maanmaanden hebben een iets langere duur (0,00305 = 4 minuten en 23,52 seconden) dan de 19 zonnejaren. Volgens mij is dit ook het enige dat Meton aan kennis heeft achtergelaten: de verhouding 19 zonnejaren en 235 maanmaanden. Dit in tegenstelling tot de door Geminos en Ptolemy genoemde combinatie van waarden met de 6940 dagen die door toeval en met een oneigenlijke berekening zijn verkregen.

De 6940 dagen van Geminos zijn echter niet hetzelfde als die uit de berekening in afbeelding 5.5 maar het gevolg van een zonnejaar met een duur van 365 5/19 dagen waar Geminos ten onrechte vanuit ging (Evans and Berggren 2006: 86, 176, 183). In hoofdstuk VIII onder VIII 5 vermeldt hij namelijk dat voor hem een zonnejaar bestaat uit een volledige omloop van de zon door de 12 tekens waarmee hij de zodiak bedoelde. Wat hij hier in feite vermeld is de duur van het zonnejaar gemeten aan de hand van de sterren, wat overigens gebruikelijk was bij de Griekse astronomen en waarvoor ze een eerste vorm van een astrolabium gebruikten die ze van de 360 dagen telling van de Babyloniërs (zie 5.10) hadden overgenomen. Maar op deze manier kwam hij wel uit op 19 x 365,25 = 6939,75 afgerond 6940 dagen.

Vervolgens is naar een rekenkundige verdeling van de 235 maanmaanden over deze 6940 dagen gezocht zonder daarbij rekening te houden met de voorwaarden waaraan een maankalender in die tijd zou moeten voldoen. Of Meton dit heeft bedacht en is overgenomen door Geminos, of dat Geminos dit zelf heeft verzonnen, zullen we nooit weten. Feit is dat Geminos vermeldt dat deze verdeling bestaat uit 110 ‘holle’ maanden en 125 ‘volle’ maanden.

Geminos vermeldt verder dat voor deze verdeling was uitgegaan van 235 maanmaanden van ieder 30 dagen met in totaal 235 x 30 = 7050 dagen (afbeelding 5.6 A). Dit is ten opzichte van de 19 zonnejaren een verschil van 7050 - 6940 = 110 dagen (afbeelding 5.6 B). Dit verschil van 110 dagen betekende volgens Geminos dat van de 235 maanmaanden van 30 dagen bij 110 hiervan een dag moest worden afgetrokken (afbeelding 5.6 C). Dit werden de ‘holle’ maanden van 29 dagen.

Om deze 110 dagen op een gelijkmatige manier in mindering te brengen over de 19 jaren en 235 maanmaanden zou volgens de beschrijving van Geminos iedere 63e dag (6940 ÷ 110 = 63,09) moeten worden verwijderd om zo op 6940 dagen uit te komen. Maar dit moet zijn de dag direct volgend op de 63 dagen periode (Heath 1913: 294) want alleen dan kunnen de 110 maanden van 29 dagen ontstaan. Dus iedere 64e dag moest worden verwijderd (afbeelding 5.7).

In de tabel in afbeelding 5.7 is het resultaat van deze relatief gelijkmatige verwijdering van iedere 64e dag met in totaal 110 dagen weergegeven. Dus 110 x (30 - 1) = 110 x 29 dagen = 3190 dagen. Er blijven dan 235 - 110 = 125 maanden van 30 = 125 x 30 = 3750 dagen over. Aan het einde komt Geminos dan weer uit op de door hem genoemde 6940 dagen (afbeelding 5.6 D).

A	235 maanmaanden van 30 dagen = 235 x 30 = 7050 dagen	
B	19 zonnejaren van 365 1/4 dagen= 19 x 365 1/4 = 6940 dagen	7050 - 6940 = 110
C	110 x (30-1 =) 29 dagen = 3190 dagen + 125 x 30 dagen = 3750 dagen	
D	3190 + 3750 = 6940 dagen	

Afbeelding 5.6 - De door Geminos in zijn Almagest beschreven berekening van de verdeling van de maanmaanden van 29 en 30 dagen over de 235 maanmaanden.

110 x de 64e dag verwijderd over 235 maanmaanden van ieder 30 dagen																							
1	30		31	930		61	1830		91	2730		121	3630		151	4530		181	5430		211	6330	
2	60		32	960	960	62	1860	1856	92	2760	2752	122	3660	3648	152	4560	4544	182	5460	5440	212	6360	6336
3	90	64	33	990		63	1890		93	2790		123	3690		153	4590		183	5490		213	6390	
4	120		34	1020		64	1920	1920	94	2820	2816	124	3720	3712	154	4620	4608	184	5520	5504	214	6420	6400
5	150	128	35	1050	1024	65	1950		95	2850		125	3750		155	4650		185	5550		215	6450	
6	180		36	1080		66	1980		96	2880	2880	126	3780	3776	156	4680	4672	186	5580	5568	216	6480	6464
7	210	192	37	1110	1088	67	2010	1984	97	2910		127	3810		157	4710		187	5610		217	6510	
8	240		38	1140		68	2040		98	2940		128	3840	3840	158	4740	4736	188	5640	5632	218	6540	6528
9	270	256	39	1170	1152	69	2070	2048	99	2970	2944	129	3870		159	4770		189	5670		219	6570	
10	300		40	1200		70	2100		100	3000		130	3900		160	4800	4800	190	5700	5696	220	6600	6592
11	330	320	41	1230	1216	71	2130	2112	101	3030	3008	131	3930	3904	161	4830		191	5730		221	6630	
12	360		42	1260		72	2160		102	3060		132	3960		162	4860		192	5760	5760	222	6660	6656
13	390	384	43	1290	1280	73	2190	2176	103	3090	3072	133	3990	3968	163	4890	4864	193	5790		223	6690	
14	420		44	1320		74	2220		104	3120		134	4020		164	4920		194	5820		224	6720	6720
15	450		45	1350	1344	75	2250	2240	105	3150	3136	135	4050	4032	165	4950	4928	195	5850	5824	225	6750	
16	480	448	46	1380		76	2280		106	3180		136	4080		166	4980		196	5880		226	6780	
17	510		47	1410	1408	77	2310	2304	107	3210	3200	137	4110	4096	167	5010	4992	197	5910	5888	227	6810	6784
18	540	512	48	1440		78	2340		108	3240		138	4140		168	5040		198	5940		228	6840	
19	570		49	1470		79	2370	2368	109	3270	3264	139	4170	4160	169	5070	5056	199	5970	5952	229	6870	6848
20	600	576	50	1500	1472	80	2400		110	3300		140	4200		170	5100		200	6000		230	6900	
21	630		51	1530		81	2430	2432	111	3330	3328	141	4230	4224	171	5130	5120	201	6030	6016	231	6930	6912
22	660	640	52	1560	1536	82	2460		112	3360		142	4260		172	5160		202	6060		232	6960	
23	690		53	1590		83	2490	2496	113	3390	3392	143	4290	4288	173	5190	5184	203	6090	6080	233	6990	6976
24	720	704	54	1620	1600	84	2520		114	3420		144	4320		174	5220		204	6120		234	7020	
25	750		55	1650		85	2550		115	3450	3456	145	4350	4352	175	5250	5248	205	6150	6144	**235**	**7050**	7040
26	780	768	56	1680	1664	86	2580	2560	116	3480		146	4380		176	5280		206	6180				
27	810		57	1710		87	2610		117	3510		147	4410	4416	177	5310		207	6210	6208			
28	840	832	58	1740	1728	88	2640	2624	118	3540	3520	148	4440		178	5340	5312	208	6240				
29	870		59	1770		89	2670		119	3570		149	4470	4480	179	5370		209	6270				
30	900	896	60	1800	1792	90	2700	2688	120	3600	3584	150	4500		180	5400	5376	210	6300	6272			

Verdeling op basis van begin op de 64e dag in de 3e maand

125 maanden blijven 30 dagen

De dagnummers die iedere 64e dag worden verwijderd waardoor 110 maanden van 29 dagen ontstaan

Afbeelding 5.7 - Tabel van 235 maanmaanden van ieder 30 dagen waarin op een relatief gelijkmatige wijze 110 x steeds de 64e dag is verwijderd waardoor 110 maanden van 29 dagen ontstaan en het totale aantal dagen op de door Geminos genoemde 125 x 30 + 110 x 29 = 3750 + 3190 = 6940 uitkomt.

Maar deze door Geminos beschreven berekening is uiteraard een puur rekenkundige benadering. Want wanneer het resultaat uit afbeelding 5.6 wordt uitgewerkt in de vorm van een maankalender van 19 zonnejaren (tabel afbeelding 5.8) dan voldoet dit niet aan de gebruikelijke basisvoorwaarden van een maankalender in een cyclus van 19 jaren.

Wat in de tabel in afbeelding 5.8 al direct opvalt is het patroon van de dubbele maanden van 30 dagen (gele vakjes afbeelding 5.8). Je zou verwachten dat dit hooguit 7x zou gebeuren bij de 7 schrikkelmaanden, maar in de tabel in afbeelding 5.8 gebeurt dit 16x. Dit is de reden dat de op basis van deze tabel gevormde maankalender vier maanjaren (2, 7, 10 en 14) van 355 dagen krijgt (roze gekleurde vakjes in afbeelding 5.8). In de dagelijkse praktijk zou dit als gevolg van observaties en synchroniseren van de maankalender met de zonnejaren incidenteel met 1 dag meer of minder wel kunnen, maar in een basispatroon voor een maankalender natuurlijk niet. Ook de verdeling van de schrikkelmaanden over de 19 zonnejaren is zeer onregelmatig en past in geen enkel bekend bestaand patroon.

Dit patroon van de dubbele maanden van 30 dagen heeft bovendien als gevolg dat de vaste duo's van 29 en 30 dagen maanden niet altijd volgens het gebruikelijke patroon aanwezig kunnen zijn. Deze duo's zijn nodig omdat ze de duur van 2 maanmaanden van ieder ± 29,5 dagen met tezamen 59 dagen vormen en zo de 6 duo's per standaard maanjaar van 354 dagen. Met als gevolg dat bij de dubbele maanmaanden van 30 dagen de eerste dag niet meer samenvalt met de 1e smalle maansikkel na nieuwe maan. Je kunt dus niet ongestraft 1 of meerdere dagen verwijderen uit, of toevoegen aan, een reeks maanmaanden (zie ook Depuydt 1997: 39) zonder de werking te verstoren.

Verdeling maanden van 29 en 30 dagen in de maankalender volgens tabel afbeelding 5.7

	jaren																			
maanden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	**totaal**
1	30	30	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	29	30	30	29	30	30	30	
2	30	30	30	29	29	29	29	30	29	29	29	30	30	30	29	30	29	29	29	
3	29	29	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	30	29	30	29	30	30	30	
4	30	30	30	29	29	30	29	30	29	29	29	30	29	30	30	30	29	29	30	
5	29	29	29	30	30	29	30	29	30	30	30	29	30	29	29	29	30	30	29	
6	30	30	30	29	29	30	29	30	29	30	30	30	29	30	30	30	29	29	30	
7	29	29	29	30	30	29	30	29	30	29	29	29	30	29	29	29	30	30	29	
8	30	30	30	29	29	30	29	30	29	30	30	30	29	30	30	30	29	29	30	
9	29	29	30	30	30	29	30	29	30	29	29	29	30	29	29	30	30	30	29	
10	30	30	29	29	29	30	30	30	29	30	30	30	29	30	30	29	29	29	30	
11	29	29	30	30	30	29	29	30	30	29	29	29	30	29	29	30	30	30	29	
12	30	30	29	30	29	30	30	29	29	30	30	30	29	30	30	29	30	29	30	
13	29			29		29				29				29			29		29	
totalen	384	355	354	384	354	384	355	354	354	384	355	354	354	384	355	354	384	354	384	**6940**

Afbeelding 5.8 - De in een maankalender met 19 zonnejaren cyclus omgezette tabel uit afbeelding 5.7.

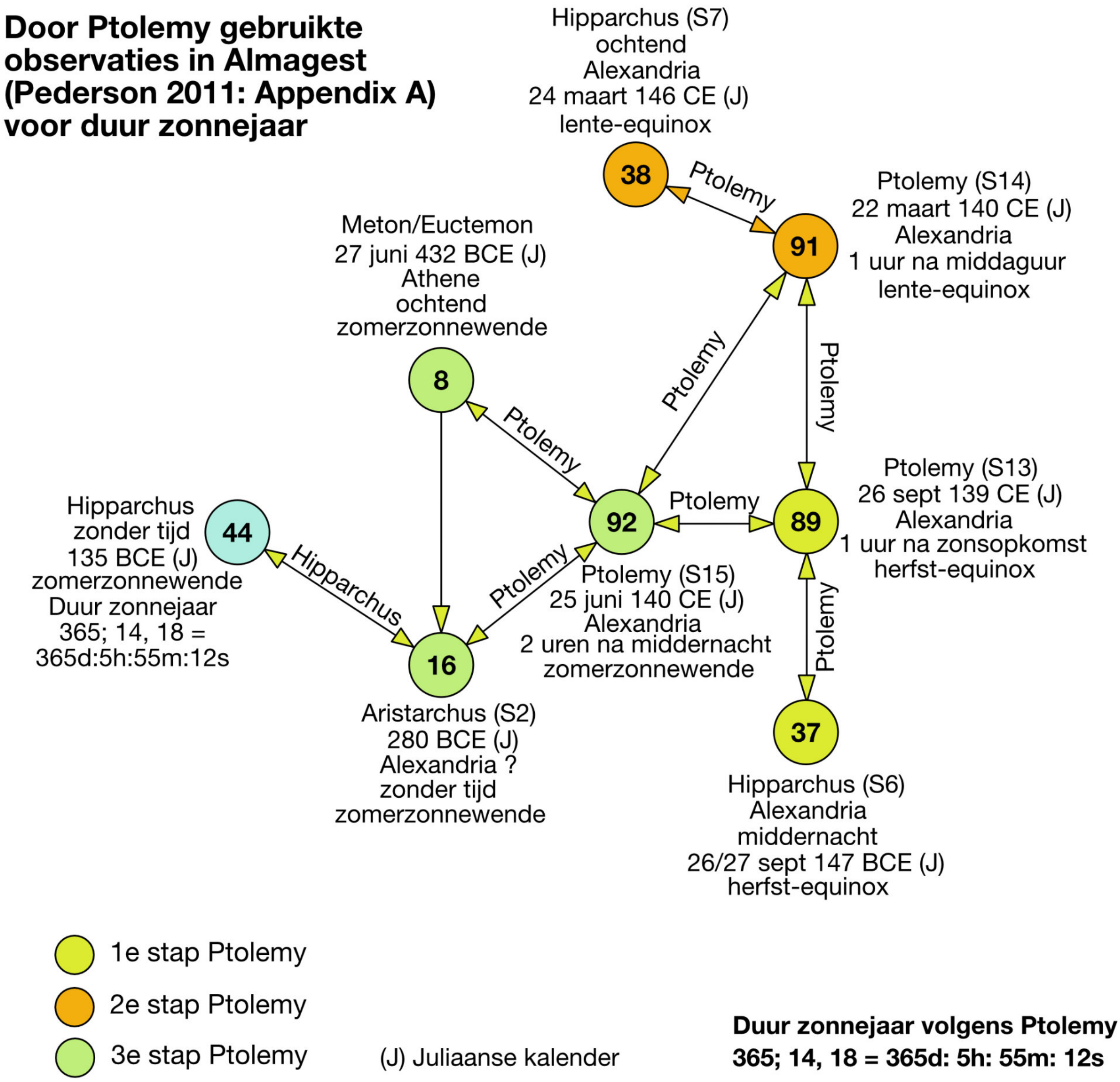
Uitgezonderd de 7 schrikkelmaanden was het gebruikelijk dat het aantal ‘holle’ maanden van 29 dagen in principe gelijk was aan het aantal ‘volle’ maanden van 30 dagen. Dit om een standaard maanjaar van 354 dagen te krijgen. De rekenkundige oplossing zoals Geminos die beschrijft voldoet hier niet aan. De vraag is dan ook of dit werkelijk de werkwijze van Meton is geweest.

Het is uiterst onwaarschijnlijk dat de Babylonische structuur van de 19 jaren cyclus maankalender via de door Geminos beschreven omslachtige omweg is ontstaan. Veel logischer is de directe toepassing van de duo’s van 29 en 30 dagen met 6 van deze duo’s van 59 dagen in een maanjaar die tezamen vrijwel altijd 354 (een enkele keer echter ook 353 of 355) dagen zijn. Dit wordt aangevuld met 7 schrikkelmaanden van 29 of 30 dagen die volgens een bepaald theoretisch schema in combinatie met observaties gelijkmatig over de 19 zonnejaren worden ingevoegd. Een methode die overigens ook de Assyriërs, Babyloniërs en Chinezen in hun maan-zon-kalender toepasten.

Merkwaardig is overigens wel dat Geminos niet de basisprincipes beschrijft zoals die in de Babylonische maankalender in de periode van 614 BCE tot 52 CE werden gebruikt en zoals te zien in het schema van Parker en Dubberstein (2007: 6). Je zou verwachten dat zowel Meton als Geminos van het bestaan van deze basisprincipes moeten hebben geweten.

Ook Ptolemy noemt regelmatig de 365 1/4 dagen als duur van het zonnejaar. Daarbij wordt in de Almagest verwezen naar een beperkt aantal observaties verspreidt over een grote periode (afbeelding 5.9). Deze observaties vonden bovendien plaats op zeer uiteenlopende tijdstippen van de dag. Wat in de beschrijvingen van de observaties opvalt is dat het steeds om 1 observatie gaat en niet om twee of meer. Pederson (2011) heeft 15 van de in totaal 94 in Appendix A genoemde observaties op een overzichtelijke wijze in hoofdstuk 5 onder ‘de lengte van het jaar’ bij elkaar gebracht. De 8 voor de duur van het zonnejaar meest relevante observaties en de vergelijking die Ptolemy heeft toegepast heb ik in afbeelding 5.9 schematisch weergegeven.

De 3 stappen van Ptolemy (herfst-equinox, zomerzonnewende en lente-equinox) die tezamen hebben geleid tot het bepalen van de duur van het zonnejaar en beschreven zijn door Pederson, zijn in dit schema in verschillende kleuren weergegeven.



Afbeelding 5.9 - Schema van de door Pederson (2011) geselecteerde en genummerde observaties die zijn beschreven in de Almagest en door Ptolemy gebruikt voor het bepalen van de duur van het zonnejaar.

Wat direct opvalt zijn de verschillende tijden van observaties die met elkaar worden vergeleken. Ook is er steeds sprake van 1 observatie. De vraag is hoe op basis van 1 observatie een duur van een zonnejaar kan worden bepaald zoals in de literatuur wordt vermeld voor bijvoorbeeld Meton op 27 juni 432 BCE (Juliaans) betreffende de zonnewende. Er mag hopelijk vanuit worden gegaan dat hieraan nog minstens 1 andere observatie vooraf is gegaan hoewel dit niet is vermeld. Maar hoe zeker is dat?

In afbeelding 5.9 is te zien welke observaties van de zomerzonnewende in 8, 16 en 92 (3e stap Ptolemy, groen gekleurde cirkels) zijn vergeleken. Verschillende locaties, verschillende tijdstippen en zelfs een observatie zonder datum en tijd. Hoe betrouwbaar kan dit zijn? En toch wordt in de moderne literatuur de meting van Meton als een soort zaligmakende waarheid gepresenteerd. Over het geheel genomen zijn de aangedragen argumenten niet echt overtuigend en geloofwaardig.

Bovendien blijkt uit andere aantoonbare voorbeelden dat de Grieken wel degelijk wisten dat een zonnejaar 365 zonnedagen telde omdat dit de standaard was zoals te zien in enerzijds de bewaard gebleven Griekse parapegmata (Bowen & Goldstein 1989: 45) en anderzijds in de tellingen van dagen van de duur van de vier seizoenen tezamen (zie onder 4.6) die altijd op 365 uitkomen.

5.6 Verdeling 7 schrikkelmaanden

Hoewel de 7 schrikkelmaanden door Geminos en Ptolemy wel als in te voegen maanden worden genoemd, besteden ze hieraan in hun bespreking van de 19 jaren cyclus verder echter geen of nauwelijks aandacht aan. Bekend is dat de Grieken astronomische en mathematische informatie hebben overgenomen van de Babyloniërs. En de Babyloniërs hadden kennelijk een goed werkende verdeling van de 7 schrikkelmaanden omdat ze deze gedurende de periode 633 BCE tot 52 CE vrij constant toepasten (Parker and Dubberstein 2007: 6). Voor de verdeling van de 7 schrikkelmaanden van 30 dagen over de 235 maanmaanden en de 19 zonnejaren gebruikten ze een min of meer vast patroon. Dit patroon was in principe gebaseerd op de verdeling 3, 3, 3, 2, 3, 3, 2 (in 3e, 6e, 9e, 11e, 14e, 17e en 19e jaar) (Jones 2017: 78; Samuel 1972: 140). Ditzelfde patroon is ook aanwezig in de Atheense maan-zon-kalender (Meritt 1961: 12, 13; afbeelding 5.10), de joodse maan-zon-kalender (Reingold 2001: 97; afbeeldingen 5.12 en 5.13) en de Chinese maan-zon-kalendar (Martzloff 2016: 69-71).

ATHEENSE KALENDERJAAR

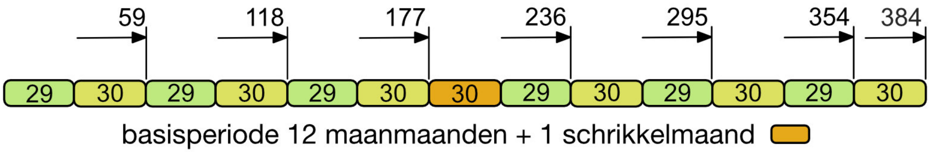
GEWOON JAAR		SCHRIKKELJAAR	
maand	**dagen**	**maand**	**dagen**
Hekatombaion	30	Hekatombaion	30
Metageitnion	29	Metageitnion	29
Boedromion	30	Boedromion	30
Pyanepsion	29	Pyanepsion	29
Maimakterion	30	Maimakterion	30
Poseideon	29	Poseideon	29
-		Poseideon II	30
Gamelion	30	Gamelion	30
Anthesterion	29	Anthesterion	29
Elaphebolion	30	Elaphebolion	30
Mounichion	29	Mounichion	29
Thargelion	30	Thargelion	30
Skirophorion	29	Skirophorion	29
Totaal	**354**	**Totaal**	**384**

Afbeelding 5.10 - Structuur Atheense maankalender (Meritt 1961: 12, 13)

Hoewel de Babyloniërs overwegend de maand Addaru II gebruikten als schrikkelmaand, blijkt uit het schema van Parker and Dubberstein (2007: 6) dat ze gedurende een lange periode ook 1x in de cyclus van 19 jaren de maand Ulula II als schrikkelmaand gebruikten. Bovendien is in ditzelfde schema van Parker and Dubberstein goed te zien dat de Babyloniërs flexibel waren door wanneer dat nodig was een extra schrikkelmaand in te voegen.

Naast het Babylonische patroon bestaat er ook een verdeling van 3, 3, 3, 2, 3, 3, 2 (in 3e, 6e, 9e, 11e, 14e, 17e en 19e jaar). In de Kallippos cyclus werd het patroon van 2, 3, 3, 2, 3, 3, 3 gebruikt (in 1e, 3e, 6e, 9e, 11e, 14e en 17e jaar; Jones 2000:145).

Het basisprincipe van de verdeling van de schrikkelmaanden is dat in 7 van de 19 zonnejaren een extra maanmaand werd ingevoegd als schrikkelmaand (afbeelding 5.11). Of zoals Spalinger (1994: 2) dat formuleert: 12 ”gewone” jaren van 12 maanmaanden (354) en 7 ”grote” jaren van 13 maanmaanden (384; is dus + 30 maandagen) (zie ook Neugebauer 1969: 102; Pannekoek 1961: 218; Jones 2017: 78, 213; Parker and Dubberstein 2007: 1).



Afbeelding 5.11 - Basisstructuur 13 maanmaanden waarvan 1 schrikkelmaand met een totaal van 384 dagen.

5.7 Herkomst zonnejaar van Geminos en Ptolemy

Intrigerend blijft hoe Geminos en Ptolemy aan de duur van het zonnejaar kunnen zijn gekomen. Het is Geminos die in het hoofdstuk ”I. Over de cirkel van de tekens” (Evans and Berggren 2006: 113, 114) een tipje van de sluier optilt. Onder ‘Tekens en sterrenbeelden’ beschrijft hij eerst de zodiak met de 12 tekens die, binnen een volledige omloop in een 360° cirkel, ieder 30° innemen. Dit lijkt overigens zeer veel op de Babylonische schematische 360 dagen kalender (zie onder 5.10).

Vervolgens beschrijft hij onder ‘Verdeling in graden’ I.7 dat de zon voor het doorlopen van de cirkel van de zodiak een jaar nodig heeft om weer op het vertrekpunt terug te komen. De tijd die hiervoor wordt genoemd is 365 1/4 dagen zodat de zon per dag 1/365 1/4 dag aflegt wat bijna 1° is. Hier is al gelijk duidelijk dat de duur van 365 1/4 dagen van Geminos niet de duur van het natuurlijke zonnejaar is maar gemeten aan de hand van de omloop van de zon door de zodiak, dus feitelijk een sterrenjaar. Dit is precies wat we terug zien in de schematische 360 dagen telling (zie onder 5.10).

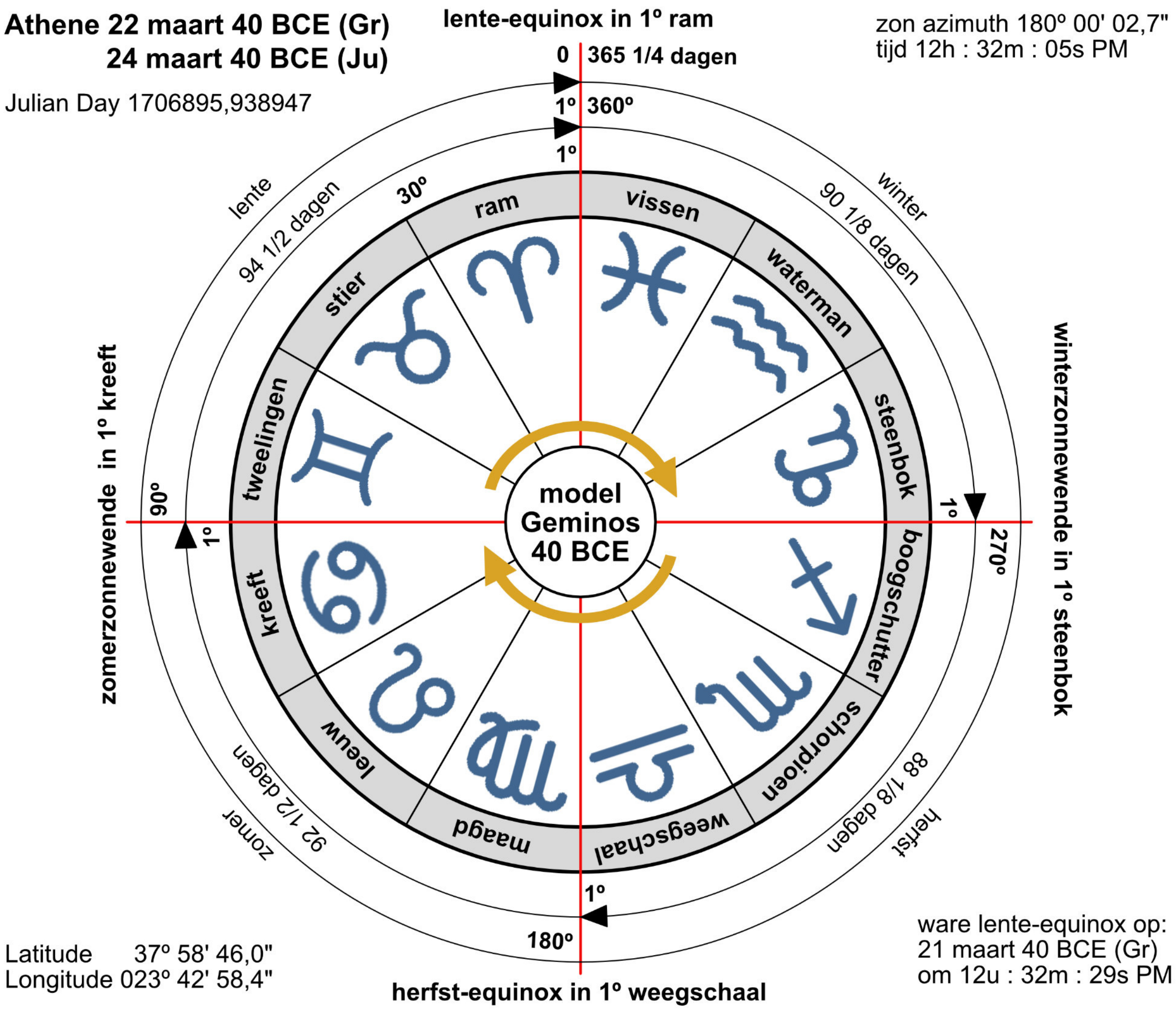
Bovendien waren ook de seizoenen gekoppeld aan de zodiak zoals Geminos onder ‘Equinoxen, zonnewendes en seizoenen’ vermeldt. Onder I.10 schrijft hij dat de lente-equinox verbonden is met de 1e graad van het zodiakteken ram (Aries). Vervolgens beschrijft hij onder ‘De ongelijkheid van de seizoenen’ (Evans and Berggren 2006: 116, 117) welke zodiaktekens bij welk seizoen en seizoenpunt horen, welk teken van de zodiak de eerste is van een seizoen en wat de duur is van ieder seizoen. Dit is ook precies zoals John Steele (2017: 74) dit beschrijft aan de hand van het *Dodecatemoria* schema voor de schematische 360 dagen kalender (zie onder 5.10). Geminos voegt er in I.17 nog aan eens toe dat alle dagen van de seizoenen tezamen 365 1/4 dagen maken. Bovenstaande omschrijving heb ik in afbeelding 5.12 gevisualiseerd.

Er zit 1 dag verschil tussen de door Geminos beschreven lente-equinox gebaseerd op de 1e graad van zodiakteken ram (Aries, 22 maart 40 BCE Greg.) en de met behulp van het astronomische programma SkySafari 6 Pro bepaalde werkelijke lente-equinox die op 21 maart 40 BCE (Greg.) plaatsvond. Om ze te kunnen vergelijken is ook de laatste omstreeks 12.00 uur PM gemeten.

Uiteraard is dit model van Geminos sterk tijdgebonden omdat de precessie ervoor zorgt dat de zodiaktekens ogenschijnlijk steeds opschuiven. Recent vond namelijk de lente-equinox plaats op 20 maart 2020 CE (Greg.) maar nu min of meer op de grens tussen de zodiaktekens vissen en waterman. Dus bijna 2 zodiaktekens verder in de zodiak.

De methodiek om aan de hand van de stand van de sterren en sterrenbeelden (zodiak) aan de hemel de plaats van de zon in het jaar te bepalen wordt bevestigd door verschillende door Ptolemy beschreven observaties (Pederson 2017: Appendix A) zoals Hipparchus in 147 BCE met om middernacht een observatie van de herfst-equinox, of Ptolemy zelf met een observatie in 140 CE om 2 uren na middernacht van de zomerzonnewende. Want bij deze genoemde observaties is niet de herfst-equinox of zonnewende zelf maar de bijbehorende dag ten opzichte van een bepaald zodiakteken genoemd. Deze koppelingen tussen seizoenpunt en zodiakteken zijn weergegeven in afbeelding 5.12. Hiermee werd dus in feite de duur van het sterrenjaar gemeten.

Ook in de teksten wordt regelmatig de koppeling tussen sterren en zon tijdens equinoxen of zonnewendes vermeld (White 2014: 43-55). Men was in die tijd, in navolging van de Babyloniërs, dus voortdurend bezig met de relatie tussen zon en zodiak. We zullen helaas nooit weten op welke wijze Meton in 432 BCE de zomerzonnewende heeft berekend.



Afbeelding 5.12 - Visualisatie van de samenhang tussen de seizoenen, seizoenpunten, duur seizoenen, duur zonnejaar, tekens zodiak en graden-verdeling in 40 BCE, zoals beschreven door Geminos (Evans and Berggren 2006: 113-117).

Een andere mogelijkheid is dat Geminos en Ptolemy kennis hadden van het decreet van Canopus dat in 238 BCE werd uitgevaardigd onder de naam van de Griekse heerser Ptolemaeus III Euergetes en koning van Egypte. Men was toen namelijk in de onjuiste veronderstelling dat, om de Egyptische nieuwjaarsdag gelijk te laten lopen met de heliacale opkomst van de heilige ster Sirius (Sothis), de duur van een jaar 365 1/4 dagen moest zijn (Wallis Budge 1904, hoofdstuk 1). Ptolemy moet dit zeker hebben geweten omdat hij veel in Alexandrië in Egypte heeft gewerkt. Overigens is dit decreet door de autochtone Egyptenaren zelf nooit overgenomen en uitgevoerd. Bovendien moet Ptolemy ook kennis hebben gehad van de invoering van de Juliaanse kalender in 43 BCE met de duur van een gemiddeld kalenderjaar van 365 1/4 dagen.

Maar zoals reeds vermeld is er een al eerder genoemde mogelijkheid die zeker niet moet worden uitgesloten. En dat is dat Geminos en Ptolemy zelf de duur van het zonnejaar rekenkundig hebben bepaald. Dit was al door de Duitse astronoom Tobias Meyer (Swerdlow 1980: 292) geopperd die in een van zijn brieven (dd. 22 augustus 1753) aan de in Zwitserland geboren mathematicus Leonhard Euler een opmerking met die strekking maakte.

Meyer stelde daarin dat zowel Ptolemy als Hipparchus de duur van het tropische jaar van 365 1/4 - 1/300 en 365 1/4 zelf hadden afgeleid van de 76 jaren cyclus van Kallippos met 76 zonnejaren, 940 maanmaanden en 27.759 maandagen en niet op basis van eigen observaties. Want als je de 27.759 dagen deelt door de 76 jaren dan kom je uit op de duur van een jaar van 365,25 dagen. Dit geldt ook voor de 6940 dagen en 19 jaren van Meton want de 6940 dagen gedeeld door 19 is 365,26315 en is dan weer precies de duur van 365 5/19 dagen die door Geminos wordt genoemd (Evans and Berggren 2006: 184).

Het blijft echter uiterst merkwaardig dat volgens Geminos en Ptolemy de beide Griekse astronomen Meton en Kallippos waren uitgegaan van respectievelijk zonnejaren van 365 5/19 en 365 1/4 dagen. Het vreemde hierbij is namelijk dat de genoemde duur van 365 5/19 en 365 1/4 de duur benadert van een zonnejaar volgens ons huidige westerse systeem van tijdrekening met de Gregoriaanse kalender als praktisch instrument. Maar dit westerse systeem is wel gebaseerd op dagen van precies 24 uren met als fundament de 400 jaren omloop die weer is gebaseerd op 400 zonnejaren van 365 zonnedagen. En kennis over dit systeem bestond in de tijd van Meton, Kallippos, Geminos en Ptolemy nog lang niet want dat werd pas in de 16e eeuw CE uitgevonden. Zij moesten het toch echt doen met het zonnejaar van 365 zonnedagen die ongeveer 57 seconden langer waren dan onze dagen van 24 uren (57 x 365 = 20.805 sec. = 5 uren, 46 minuten en 45 seconden).

Betreffende de door Ptolemy gebruikte tijdsduren vermeldt hij dan weer wel dat de tijdmetingen in zestigsten van een dag (een dag was 360 tijdgraden, 1/60 is 6 tijdgraden) werden geconverteerd naar equinox-uren. En deze equinox-uren zijn gebaseerd op ware zonnedagen (Toomer 1984: 281 H473). Dit bevestigt nog eens dat ook in de tijd van Ptolemy feitelijk alleen met natuurlijke zonnetijd werd gewerkt en dus met een zonnejaar van 365 zonnedagen.

5.8 Vergelijking joodse tijdrekening

De waarden en berekeningen die door Geminos en Ptolemy worden vermeld zijn bijzonder twijfelachtig omdat ze in hoge mate afwijken van de gebruikelijke structuur van de 19 jaren cyclus zoals door de Babyloniërs en joden werd gebruikt. Ook de joden hadden, toen ze rond 500 BCE werden bezet door de Babyloniërs, enkele gewoonten overgenomen van hun bezetters zoals de 19 jaren cyclus van de maan-zon-kalender (Cohn 2007: 18).

In die tijd was een maankalender gebaseerd op regelmatige observaties. Het was in 359 CE (Juliaanse tijdrekening) dat de al honderden jaren gebruikte joodse maan-zon-kalender met de Babylonische 19 jaren cyclus door het joodse Sanhedrin (gerechtshof), met Hillil II als voorzitter, als standaard werd aangenomen, op schrift gesteld en gepubliceerd (Reingold 2001: 95; Flores 2013).

Deze stap werd genomen om te voorkomen dat vanwege de vervolging door de Romeinen de kennis van deze voor de joden uiterste belangrijke kalender en tijdrekening verloren zou gaan. Gelukkig is daardoor deze kennis bewaard gebleven en geeft nu inzicht in de eeuwenoude opbouw en werking ervan.

Net als bij de Babyloniërs wordt het fundament van de joodse maan-zon-kalender gevormd door 235 maanmaanden en 19 zonnejaren. De samenstelling van de 235 maanmaanden is in de joodse versie echter duidelijk beschreven en geeft een goed beeld van de logische opbouw en werking van deze 19 jaren cyclus. De joodse versie laat zien dat binnen zo'n maankalender, volgens een aantal vastgelegde spelregels, ook de nodige flexibiliteit is ingebouwd met betrekking tot het waar nodig invoegen of weglaten van een dag binnen de 12 maanmaanden van een zonnejaar zonder dat hierdoor de maankalender in ernstige mate wordt verstoord (afbeelding 5.13). De spelregels worden gedicteerd door vastgelegde gebeds- en feestdagen waar ik verder niet op in zal gaan omdat dit buiten het kader van deze bespreking valt. Het gaat vooral om de basisstructuur en werking van deze joodse tijdrekening. Wel kent de joodse tijdrekening een onderscheid tussen de godsdienstige kalender volgens de Thora die begint op Nisan 1 en een gewone gebruikskalender volgens de Misjna die begint op Tishri 1. Ze zijn in structuur en werking precies hetzelfde maar hebben ieder een eigen beginpunt.

JOODSE KALENDERJAAR

	GEWOON JAAR		SCHRIKKELJAAR	
	maand	dagen	maand	dagen
Tisjri	Tishri	30	Tishri	30
Chesjwan	Marcheshvan	29	Marcheshvan	29
Kislew	Kislev	30	Kislev	30
Tewet	Tebeth	29	Tebeth	29
Shewat	Shevat	30	Shevat	30
Adar	Adar	29	Adar I	30
	-		Adar II	29
Niesan	Nisan	30	Nisan	30
Iyar	Iyar	29	Iyar	29
Siewan	Sivan	30	Sivan	30
Tammoez	Tammuz	29	Tammuz	29
Aw/Menacum-Aw	Ab	30	Ab	30
Elloei	Elul	29	Elul	29
	Totaal	**354**	**Totaal**	**384**

Afbeelding 5.13 - Overzicht van de twee soorten jaren in de joodse maankalender met links de opbouw van het gewone jaar volgens de Misjna en rechts die van het schrikkeljaar.

Ieder gewoon jaar heeft 6 holle maanden van 29 dagen en 6 volle maanden van 30 dagen. Ieder schrikkeljaar heeft 6 holle maanden van 29 dagen en 7 volle maanden van 30 dagen. Over de 19 jaren zijn dat 114 holle maanden en 121 volle maanden met in totaal 6936 dagen.

JOODSE 19 JAREN CYCLUS

JAAR	SOORT JAAR	DAGEN
1	gewoon jaar	354
2	gewoon jaar	354
3	**schrikkeljaar**	**384**
4	gewoon jaar	354
5	gewoon jaar	354
6	**schrikkeljaar**	**384**
7	gewoon jaar	354
8	**schrikkeljaar**	**384**
9	gewoon jaar	354
10	gewoon jaar	354
11	**schrikkeljaar**	**384**
12	gewoon jaar	354
13	gewoon jaar	354
14	**schrikkeljaar**	**384**
15	gewoon jaar	354
16	gewoon jaar	354
17	**schrikkeljaar**	**384**
18	gewoon jaar	354
19	**schrikkeljaar**	**384**
	totaal	**6936**

Afbeelding 5.14 - Overzicht van de opbouw van de 19 jaren cyclus met de verdeling van de 7 schrikkeljaren.

De basisstructuur is gelijk aan de onder 5.2 beschreven gangbare structuur. In de joodse 19 jaren cyclus is het patroon van de verdeling van de 7 extra in te voegen schrikkelmaanden volgens de methode 3, 3, 2, 3, 3, 3, 2 waarmee in het 3e, 6e, 8e, 11e, 14e , 17e en 19e jaar (afbeelding 5.14) een schrikkelmaand ingevoegd op een vaste plek in de kalender (Reingold 2001: 96, 97). Ook het schema in Parker and Dubberstein (2007: 6) volgt de Babylonische methode 3, 3, 2, 3, 3, 3, 2.

Omdat men in het geval van de joodse maankalender wist dat er in de duur van de maanmaanden kleine afwijkingen konden voorkomen zijn er nog een een aantal extra momenten vastgesteld waarop indien nodig een dag kan worden ingevoegd of weggelaten.

Dit was noodzakelijk om in de pas te blijven lopen met het zonnejaar en de seizoenen met het behouden van de onlosmakelijk daaraan verbonden feest- en gebedsdagen. Vanwege de kleine afwijkingen in de duur van de maanmaanden kan een standaard joods maanjaar 353, 354 of 355 dagen hebben en een schrikkel-maanjaar 383, 384 of 385 dagen (Gartenhaus and Tubis 2007: 113).

Wanneer we de waarden van de boven beschreven joodse tijdrekening vervangen door de waarden volgens de westerse standaard tijdrekening dan hebben de 19 zonnejaren op basis van epoche 747 BCE (Pederson 2011: Appendix B) een duur van 19 x 365,24666 = 6939,68654 en de 235 maanmaanden een duur van 235 x 29,530594 = 6939,68959 westerse standaarddagen (zie afbeelding 5.4 en 5.15). Het verschil is 0,00305 (4 minuten en 23,5 seconden). Dit is veel logischer dan de veronderstellingen van Geminos en Ptolemy.

Aan de joodse maanden Marcheshvan (Chesjwan) en/of Adar kan wanneer dat nodig is een dag worden toegevoegd terwijl van de maand Kislev wanneer nodig een dag kan worden afgetrokken. Een schrikkelmaand van 30 dagen wordt altijd ingevoegd voor de maand Adar en deze ingevoegde maand krijgt dan de naam Adar I terwijl de bestaande maand Adar dan Adar II wordt genoemd.

Duidelijk is dat op basis van de structuur en werking van de boven beschreven joodse tijdrekening een logische en zeer goed sluitende 19 jaren cyclus ontstaat die overeenkomt met de Babylonische, joodse en Atheense maankalenders.

Behalve de basisstructuur van de 19 zonnejaren, de 235 maanmaanden en de 7 schrikkelmaanden wijkt de aan Meton toegeschreven structuur en werking zoals beschreven door Geminos af van de in die tijd gangbare verdeling. De 19 jaren cyclus is in geen geval een methode om de duur van een zonnejaar te berekenen zoals Geminos en Ptolemy hebben gesuggereerd. Het is eerder andersom omdat je de duur van een zonnejaar moet kennen om het aantal maanmaanden te kunnen bepalen dat hierin past.

Zoals eerder vermeld kende men in het oude China van rond 600 BCE deze cyclus van 19 jaren ook. Met precies dezelfde 235 maanmaanden waarvan 7 schrikkelmaanden (Aslaksen 2010: 9; Cullen 2017: par. 1.3). Volgens Aslaksen (2010: 9) werd dit de 'zhāng' cyclus genoemd.

5.9 De 76 jaren cyclus van Kallippos

Van Kallippos van Cyzicus (ca. 370-300 CE) is helaas weinig bekend. Zoals bij Meton is ook van het werk van Kallippos (of Callippus) vrijwel niets direct aan ons overgeleverd. Geminos besteedt er slechts enkele zinnen aan (Evans and Berggren 2006: 184, 185). Ptolemy bespreekt deze cyclus iets uitgebreider (Toomer 1984: 12-14). Kallippos zou een cyclus hebben ontwikkeld die gebaseerd was op de boven beschreven 19 jaren cyclus van Meton maar dan in een viervoud daarvan. Beweerd wordt dat de cyclus van Kallippos nauwkeuriger zou zijn dan 4 keer de 19 jaren cycli van Meton tezamen.

Geminos vermeldt dat Kallippos de 76 jaren periode ontwikkelde door 4 perioden van de 19 jaren cyclus van Meton samen te voegen waardoor (4 x 235 =) 940 maanmaanden met 28 (4 x 7) schrikkelmaanden ontstaan met een totaal van 27.759 dagen (Evans and Berggren 2006: 184-185; afbeelding 5.15). Ook vermeldt Geminos dat de verdeling van de 28 in te voegen schrikkelmaanden op dezelfde manier werd toegepast als in de 19 jaren cyclus van Meton.

Ptolemy vermeldt ongeveer hetzelfde als Geminos (Toomer 1984: 12; Jones 2016: 122) maar voegt eraan toe dat Kallippos een zonnejaar gebruikte van 365 1/4 dagen met in totaal 76 x 365 1/4 is 27.759 zonnedagen. Ook zou Kallippos bij de 4 x 6940 dagen van de 19 jaren cyclus met een totaal van 27.760 dagen 1 dag in mindering hebben gebracht en zo op de 27.759 dagen uit te komen.

Maar als Kallippos een jaar gebruikte van 365 1/4 dagen dan komt dit met 76 x 365,25 al uit op 27.759 dagen en hoefde er dus geen dag in mindering te worden gebracht. Het was dus geen vooraf bepaald standpunt maar een gevolg van de toegepaste duur van een zonnejaar. Ook vermeldt Ptolemy dat er verschillende pogingen zijn gedaan om de cyclus van Kallippos te reconstrueren met echter tegenstrijdige resultaten. Ptolemy geeft hiermee zelf al aan dat in zijn tijd niemand wist hoe de structuur en werking van de 76 jaren cyclus van Kallippos precies in elkaar zat. En hoewel er al wel pogingen zijn gedaan deze structuur te ontrafelen weten we in feite nog steeds niet goed hoe deze cyclus was opgebouwd. De enige zekerheid in dit verhaal is de combinatie van 76 zonnejaren en 940 maanmaanden. Al het andere is gissen.

76 zonnejaren
940 maanmaanden waarvan 28 schrikkelmaanden
27.760 - 1 = 27.759 zonnedagen

Afbeelding 5.15 - De basiselementen van de 76 jaren cyclus van Kallippos zoals die zijn overgeleverd door Geminos en Ptolemy.

Wanneer alleen de door Geminos en Ptolemy genoemde 76 zonnejaren en 940 maanmaanden, in die periode in feite zonnedagen, worden omgerekend van zonnetijd naar het westerse systeem van tijdrekening dan blijken ze in duur vrijwel gelijk aan elkaar te zijn (afbeelding 5.16). Het verschil tussen beiden (27.758,74616 en 27.758,75836) is zeer klein, namelijk 0,0122 dag (17 minuten en 34 seconden). Dus volgens onze huidige maatstaven en tijdrekening een bijna perfecte combinatie.

76 standaardjaren van 365,24666 (epoche 747 BCE*) = 27.758,74616 standaarddagen
= 940 maanmaanden van 29,530594 (epoche 747 BCE*) = 27.758,75836 standaarddagen

* de epoche die Ptolemy in de Almagest heeft gebruikt (volgens Pederson 2011: Appendix B).

Afbeelding 5.16 - De twee basiselementen van de 76 jaren cyclus van Kallippos omgerekend in het westerse systeem van tijdrekening met bijna gelijke waarden. Ook hier een bijna perfecte combinatie.

De gemiddelde duur van een maanmaand over die periode kan globaal ook worden berekend door de in afbeelding 5.15 en 5.16 genoemde 27.759 zonnedagen te delen door de 940 maanmaanden wat uitkomt op een gemiddelde van 29,53085 standaarddagen. Dit is weer zeer dicht bij de duur volgens epoche 747 BCE van gemiddeld 29,53059 westerse standaarddagen van 24 uren. Opmerkelijk is dat zowel Geminos als Ptolemy hierover niets vermelden.

Wanneer voor de 76 jaren cyclus van Kallippos dezelfde basisprincipes als van de Babylonische maan-zon-kalender zouden zijn toegepast, dan in ieder geval moet worden uitgegaan van 76 zonnejaren, 940 maanmaanden en 28 schrikkelmaanden zoals Geminos vermeldt (Evans and Berggren 2006: 185). Uitgewerkt volgens het systeem van tijdrekening anno 4e eeuw BCE levert dit een resultaat op zoals weergegeven in afbeelding 5.17.

(4 x 19 =) 76 zonnejaren = 76 x 365 = 27.740 zonnedagen
(4 x 235 =) 940 maanmaanden waarvan (4 x 7 =) 28 schrikkelmaanden
940 - 28 = 912 ÷ 2 = 456 'holle' (29) + 456 'volle' (30) maanmaanden
1 standaard 'maanjaar' van 12 gemiddelde maanmaanden = 354 dagen
76 standaard 'maanjaren' van 354 dagen = 26.904 dagen
27.740 - 26.904 = 836 schrikkeldagen ÷ 28 = 29,86 dagen per schrikkelmaand
28 schrikkelmaanden van (29,86 = afgerond) 30 dagen is 840 dagen
840 - 836 = + 4 schrikkeldagen teveel
28 - 4 = 24 schrikkelmaanden van 30 (720) + 4 van 29 (116) dagen = 836 dagen
26.904 + 836 = 27.740 zonnedagen

Afbeelding 5.17 - Structuur van de 76 jaren cyclus van Kallippos op basis van de 4x 19 jaren cyclus van Meton volgens het systeem van tijdrekening uit de 4e eeuw BCE.

Uitgaande van de basisprincipes houdt dit in dat een standaard ‘maanjaar’ 354 dagen heeft en is opgebouwd uit duo’s van steeds 59 dagen. Dit betekent dat ieder standaard ‘maanjaar’ van 354 dagen altijd evenveel ‘holle’ als ‘volle’ maanmaanden moet hebben. Daarnaast moeten de 28 schrikkelmaanden gelijkmatig over de 79 jaren worden verdeeld.

Hoewel er vaak vanuit wordt gegaan dat de schrikkelmaanden uit 30 dagen bestaan wordt dit door Geminos en Ptolemy echter nergens als zodanig vermeld. Geminos vermeldt voor de 19 jaren cyclus en de 76 jaren cyclus alleen de ‘embolistische’ (tussen te voegen) maanmaanden zonder een specifiek aantal dagen te noemen. Ptolemy vermeldt alleen voor de 19 jaren cyclus dat er 12 jaren van 12 maanmaanden en 7 jaren van 13 maanmaanden waren. Dit moet dan voor de 76 jaren cyclus met 4 worden vermenigvuldigd. Dus (4 x 12 =) 48 jaren van 12 maanden (576 maanden) en (4 x 7 =) 28 jaren van 13 maanden (364 maanden). Tezamen is dit weer 940 maanmaanden.

Zoals Geminos vermeldt zou Kallippos voor de structuur van de 76 jaren cyclus van hetzelfde principe van de verdeling van de maanjaren en schrikkeljaren zijn uitgegaan zoals gebruikt bij de 19 jaren cyclus van Meton. Dus 76 standaard maanjaren van 354 dagen betekent 76 x 6 = 456 duo's van 29 en 30 dagen. Dit zijn dan 456 'holle' (29) en 456 'volle' (30) maanmaanden. Dus (456 x 29) + (456 x 30) = 13.224 + 13.580 = 26.904 dagen (overzicht afbeelding 5.16). Voor de 28 schrikkelmaanden resten dan nog 27.740 - 26.904 = 836 dagen.

Dit verschil van de 836 dagen moet over de 28 schrikkelmaanden worden verdeeld. Omdat voor deze 28 schrikkelmaanden geen exacte aantallen dagen worden genoemd, ze kunnen dus variabel zijn. Volgens het voorbeeld in de tabel in afbeelding 5.17 zouden deze dus ook kunnen bestaan uit 24 maanden van 30 dagen en 4 maanden van 29 dagen, tezamen 836 dagen. Ik geef ook direct toe dat ook dit gewoon gissen is. Deze 76 jaren cyclus werd overigens alleen door astronomen gebruikt want hoewel de Griekse stadstaten ieder een eigen kalender hadden waren ze wel allemaal op de structuur van de 19 jaren cyclus gebaseerd (Thomson 1943: 53) zoals de Atheense kalender (zie 5.5).

De enige auteur waarvan ik een voorstel voor de indeling van de 76 jaren cyclus heb gevonden is Alexander Jones (2016: 122) die een korte beschrijving geeft van de cyclus van Kallippos die bestond uit 4 × 235 = 940 maanmaanden en 27.759 dagen (76 x 365,25). Maar de verdeling van de holle en volle maanden was vanwege 1 dag minder iets anders dan die van Meton (4 x 6940 = 27.760), dus 27.760 -1 = 27.759 dagen.

Volgens Jones bestond de cyclus uit 441 holle (29 dagen, afbeelding 5.18 A) en 499 volle (30 dagen, afbeelding 5.18 B) maanden inclusief de door Geminos vermeldde 28 (4 x 7) schrikkelmaanden (afbeelding 5.18 C). Het totaal van Jones werd daarmee (441 × 29) + (499 × 30) = 27.759 maandagen, wat in die tijd dus feitelijk zonnedagen waren (zie overzicht 5.18 A en B).

Structuur volgens Jones

<table>
<tr><td>A</td><td>441 holle maanmaanden van 29 dagen = 441 x 29 = 12.789 dagen</td><td rowspan="2">12.789 + 14.970 = 27.759 dagen</td></tr>
<tr><td>B</td><td>499 volle maanmaanden van 30 dagen = 499 x 30 = 14.970 dagen</td></tr>
<tr><td>C</td><td>28 schrikkelmaanden</td><td></td></tr>
<tr><td>D</td><td>27.759 ÷ 76 zonnejaren = 365,25 dagen per jaar</td><td></td></tr>
</table>

Afbeelding 5.18 - Structuur van de 76 jaren cyclus van Kallippos zoals voorgesteld door Jones (2016: 122)

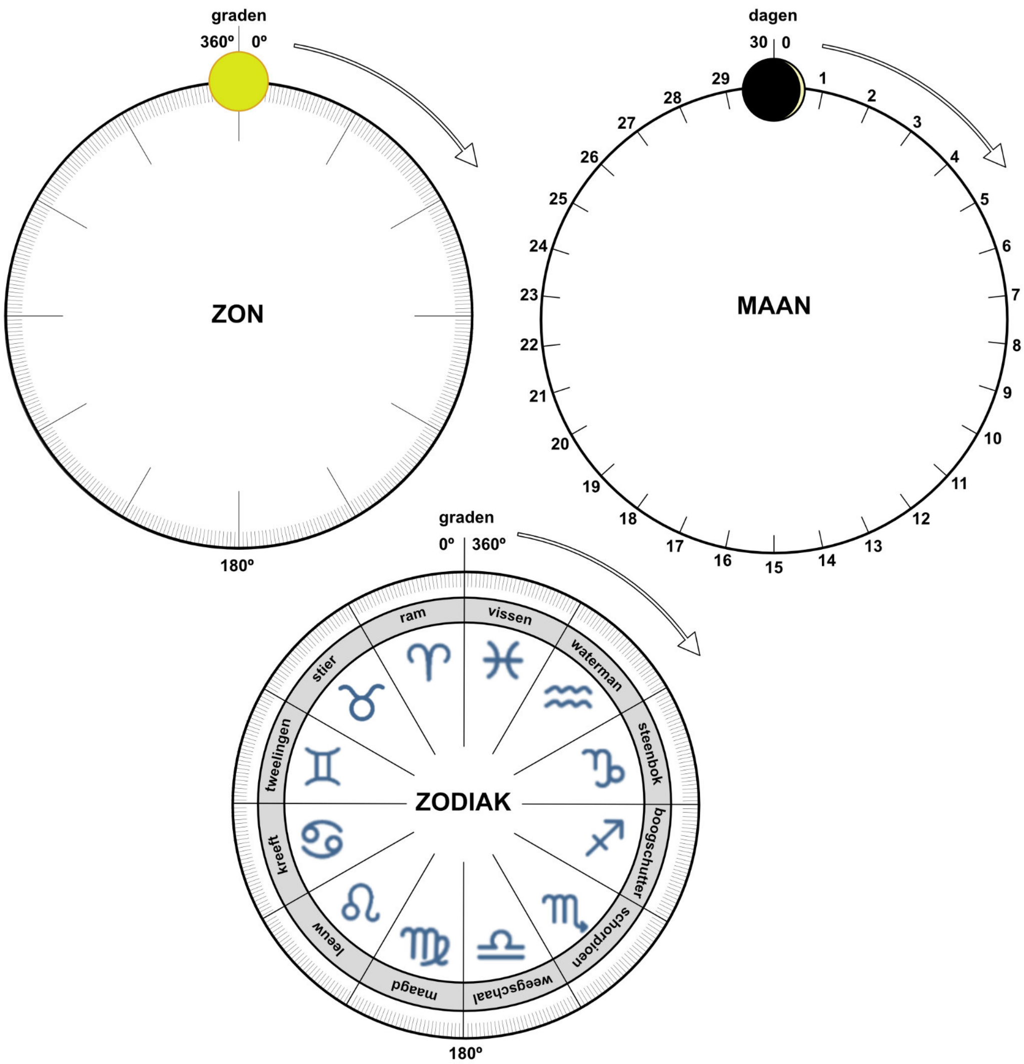
Deze aanname houdt wel in dat Jones is uitgegaan van een jaar van 365,25 dagen, dus in feite een gemiddeld Juliaans jaar uitgedrukt in westerse standaardtijd. Maar van de Juliaans tijdrekening met gemiddelde standaardjaren van 365,25 dagen is gebleken dat deze niet in de pas loopt met het ware zonnejaar. Merkwaardig daarbij is ook nog dat Jones de gemiddelde maanmaand van 29,5 dagen in zonnetijd hanteert in plaats van de gemiddelde westerse maanmaand van 29,53059 standaarddagen. Deze vergelijking mag in feite niet op deze manier worden gemaakt omdat er twee verschillende systemen van tijdrekening met elkaar worden vergeleken.

Bovendien gaat Jones ook niet uit van de basisprincipes die zouden zijn gehanteerd voor de 76 jaren cyclus. Dus met 76 standaard 'maanjaren' van 354 dagen bestaande uit 456 'holle' en 456 'volle' maanden en de 28 schrikkelmaanden. In het voorstel van Jones zijn er 499 - 441 = 58 'volle' maanden meer dan 'holle' maanden, terwijl het er volgens de logische opgebouwde basisprincipes evenveel hadden moeten zijn. Van deze 58 volgens Jones moeten dan de 28 schrikkelmaanden in mindering worden gebracht waardoor er 30 'volle' maanden van 30 dagen overblijven die dan vervolgens gelijkmatig over de kalender moeten worden verdeeld. Hiermee wordt de structuur volgens de basisprincipes als geheel aanzienlijk verstoord. Het voorstel van Jones is vooral rekenkundig en zal in praktische zin zeer waarschijnlijk onbruikbaar zijn.

5.10 De schematische Babylonische 360 dagen telling

Naast de zon als maat van tijd en de maan-zon-kalender gebruikten de Babyloniërs ook een 360 dagen telling die specifiek voor administratieve en astrologische doeleinden was bedoeld (Steele 2017: 70). Maar uit de historische bronnen van de *Dodekatemoria* en *Kalendertext* schema's blijkt dat dit type telling in astronomisch en astrologisch opzicht ook een direct verband had met de omloop van de zon en de maankalender zelf (Brack-Bernsen and Steele 2004: 102).

De naam '360 dagen telling' werkt enigszins verwarrend. Het is in dit geval namelijk geen telling van dagen in de gebruikelijke betekenis van een kalender zoals gebruikt door de oude Mexicanen en Egyptenaren die een 360 dagen telling gebruikten tezamen met een periode van 5 overgangsdagen om zo op het 365 dagen zonnejaar uit te komen. Daar was het wel een echte telling van 360 dagen. Maar bij de Babyloniërs ging het in feite om een schematische, ideale 360 dagen telling die was opgebouwd uit 12 maanmaanden van 30 dagen die tezamen gelijk waren gesteld aan de 360° van de zon in de jaarlijks omloop aan de hemel en een parallel hieraan verlopende schematische nachtelijke 360° maandelijkse (maan) en jaarlijkse (zon) omloop van de zodiak (afbeelding 5.19). En we weten dat een 360° omloop in een jaar van de zon gelijk is aan 365 zonnedagen.



Afbeelding 5.19 - Gevisualiseerd principe van de 3 basisbewegingen van de Babylonische 360 dagen telling. Omdat de kijkrichting op het zuiden is gericht is de draairichting van zon, maan en zodiak rechtsom.

De reden dat ik deze schematische 360 dagen telling hier nader wil toelichten is dat de hiervoor gebruikte methodiek model zou kunnen hebben gestaan voor de wijze waarop volgens de beschrijvingen van Geminos en Ptolemy de duur van een zonnejaar tot stand kwam.

Uit de door Ptolemy beschreven waarnemingen blijkt dat er verschillende nachtelijke observaties worden genoemd die een sterke overeenkomst hebben met de door de Babyloniërs gebruikte methodiek van de 360 dagen telling. Dit betreft dan met name het hierin aanwezige verband tussen de posities van de maan in de zodiak en datums in de 360° of 360 dagen omloop van de zon.

In de tijd van de oude Babyloniërs ging men er vanuit dat de zon een cirkelbeweging rond de aarde maakte waarvan wij nu weten dat het uiteraard de aarde is die in een licht elliptische baan van 360° om de zon draait. En omdat de aarde linksom om haar as en rond de zon draait, dus tegen de wijzers van de klok in, bewegen zon, maan en zodiak voor de waarnemer op het noordelijk halfrond en kijkend naar het zuiden zich daarom ogenschijnlijk rechtsom langs de hemel. Het principe achter deze 360 dagen telling is het gebruik van een schematische zodiak als intermediair tussen de schematische basisbewegingen van de zon en de maan, dus in feite tussen dag en nacht. De natuurlijke verschillen in de duur van de cyclische omloop van zowel zon als maan worden volledig buiten beschouwing gelaten. Het enige wat telt in deze telling is het vaste schematische principe.

Kijkrichting waarnemer sterrenhemel

Omdat tot nu toe als kijkrichting van de waarnemer het zuiden is gebruikt, wordt deze kijkrichting ook in de nu volgende bespreking van de 360 dagen kalender consequent toegepast. Voor het principe en de werking maakt dit overigens verder niets uit.

Drie basisbewegingen

Uit de bewaard gebleven geschreven bronnen van de Babyloniërs blijkt dat zij voor de basis van hun 360 dagen telling uitgingen van een gelijke jaarlijkse omloop van zon en zodiak van 360°. Niet zo verwonderlijk omdat zij het verschil niet kenden tussen een zonnejaar en een sterrenjaar. Maar omdat zij een maan-zon-kalender gebruikten moest daarin ook de maan op een schematische manier worden ingepast. Het doel was duidelijk om de maan zodanig te integreren dat er een schematische jaarcyclus ontstond waarbij de drie basisbewegingen van zon, zodiak en maan hetzelfde begin- en eindpunt hadden.

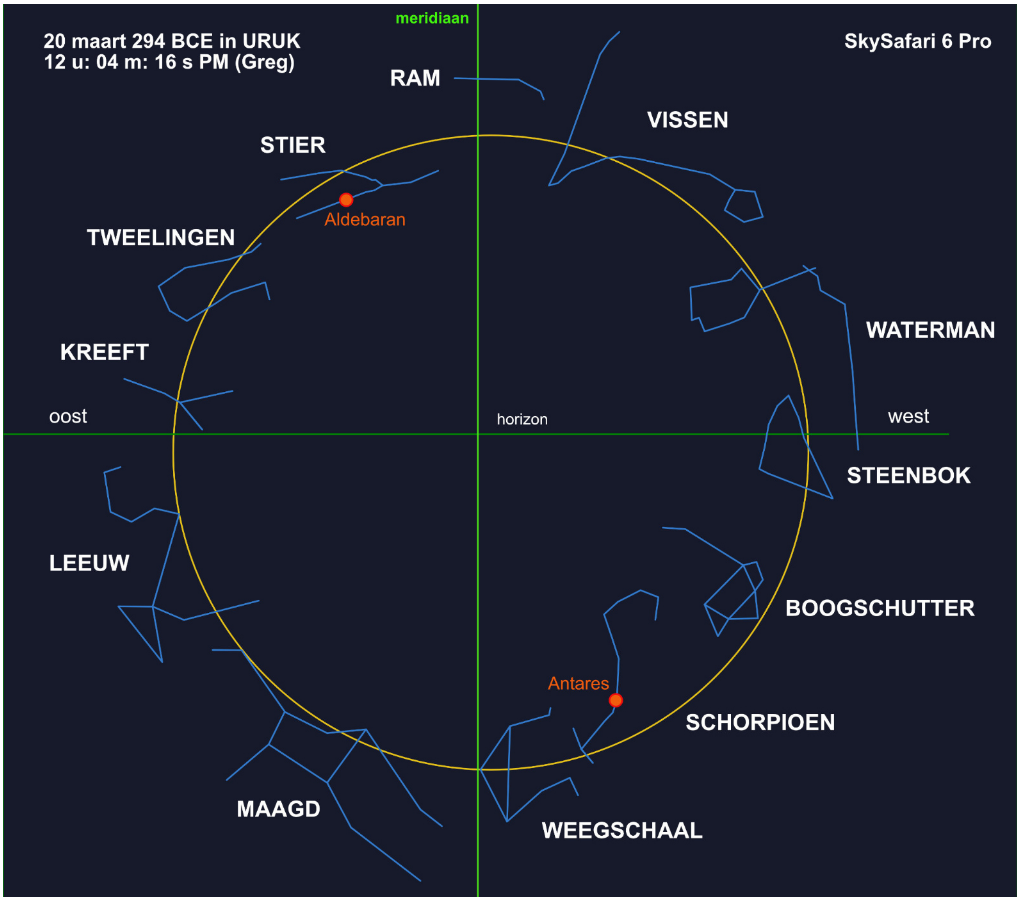
De eerste basisbeweging is die van de zon waarbij de 360 dagen van de schematische telling overeenkomen met de werkelijke jaarlijkse omloop van 360° van de zon (afbeelding 5.19). Dus iedere dag van de 360 dagen telling komt in de teksten van eerder genoemde Babylonische schema's overeen met 1° (tijdgraad) van de omloop van zon in de ecliptica. Als 1e dag van het jaar werd daarbij de zon in de 1e graad van het zodiak teken Aries (ram) op of kort na de lente-equinox gebruikt (Steele 2018: 100). Met behulp van een astronomisch programma blijkt dat de zon echter pas rond 294 BCE aan het begin van Aries (ongeveer tussen 1° en 3°) stond. Rond 500 BCE, toen de schematische 360 dagen telling moet zijn ontstaan, stond de zon op of kort na de lente-equinox echter halverwege Aries (15°). Belangrijk gegeven is dat de basisbeweging van de zon met z'n ogenschijnlijke omloop van 360°, die in werkelijkheid in 365 zonnedagen wordt voltooid, ook hier weer de maat van tijd is waarbinnen de andere cycli zich bewegen. De jaarlijkse omloop van de zon is het feitelijke fundament waarop de 360 dagen telling is gebaseerd. En zolang voor het begin van het jaar de dag van de lente-equinox werd gebruikt bleef deze telling van 360 dagen lange tijd keurig in de pas lopen met de zonnejaren.

De tweede basisbeweging is die van de zodiak. De zodiak kan in deze 360 dagen telling worden beschouwd als de verbindende schakel tussen zon en maan, dus tussen dag en nacht. Echter niet met de bekende 12 sterrenbeelden maar met een puur schematische verdeling van de 12 tekens van de zodiak met gelijke lengten van 30° binnen de omloop van 360°. Dit wordt de sterren-zodiak genoemd en heeft z'n oorsprong in Babylonia waar deze voor het eerst in teksten uit 475 tot 457 BCE verschijnt (Powell 2007: 7, 39, 40). Deze 12 tekens van de zodiak zijn gebaseerd op bepaalde vaste sterren binnen de zodiaktekens en draaien ogenschijnlijk rechtsom, van oost naar west, langs de meridiaan (afbeelding 5.19). Dit doen ze in feite iedere zonnedag maar het gaat hier om de jaarlijkse beweging ten opzichte van de stand van de zon in de ecliptica. Overigens draaien deze 12 sterrenbeelden zelf niet rond maar is ook dit weer een optisch gevolg van het draaien van de aarde om haar as en rond de zon. Volgens Powell (2007: 8, 9) was de eerste basis voor de zodiak de as van de twee sterren Aldebaran en Antares die in de genoemde periode ieder op 15° in respectievelijk de zodiaktekens Taurus (stier) en Scorpio (schorpioen) stonden (afbeelding 5.20).

Wat betreft de zodiak is het van belang om te bepalen vanuit welke kijkrichting deze wordt weergegeven. De zodiak zoals in deze bespreking gehanteerd heeft als kijkrichting zuid en draait aan de hemel van oost naar west, dus rechtsom (figuur 5.21a). Soms heeft de zodiak een kijkrichting noord, zoals Babylonisch astrolab B, dus het spiegelbeeld van de zuidelijke kijkrichting maar dan linksom draaiend (figuur 5.21b). Helaas wordt dit in de literatuur zelden vermeld.

De zodiak zoals in deze bespreking gebruikt is de gestileerde astrologische of sterren-zodiak. Een sterke vereenvoudiging van deze astronomische zodiak is in afbeelding 5.20 weergegeven. Wat mij hierbij wel is opgevallen is dat er in de literatuur en op internet bijna geen astronomische zodiak te vinden is waarin de uitgebeelde sterrenbeelden hetzelfde zijn. Zelfs niet in astronomische computerprogramma's als SkySafari 6.0 Pro en Redshift. Je zou verwachten dat nu, anno 2020, hiervan wel een eenduidig beeld zou zijn ontstaan. Maar niets is minder waar, wat eigenlijk onvoorstelbaar is. Voor de verdere bespreking van de zodiak heb ik de vormgeving van het astronomische programma SkySafari 6 Pro gebruikt.

De basis voor de schematische zodiak zoals ontworpen door de Babyloniërs was uiteraard de sterrenhemel zoals zij die in hun tijd zagen. Rond 294 BCE, toen de schematische 360 dagen telling inmiddels vaste vorm moet hebben gekregen, zagen de betreffende sterrenbeelden van de zodiak er volgens SkySafari 6 Pro ongeveer uit zoals in figuur 5.20 weergegeven.

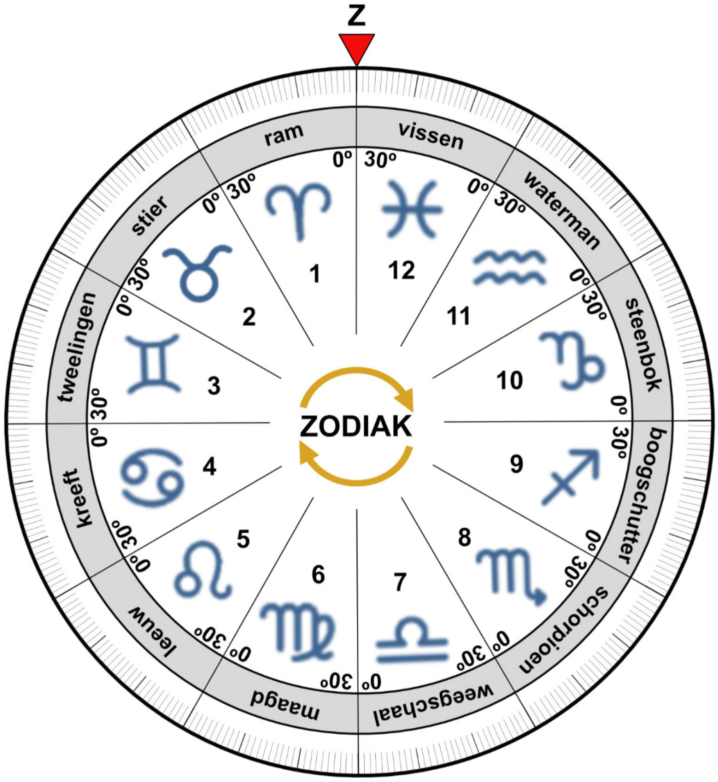


Afbeelding 5.20 - De 12 astronomische sterrenstelsels van de zodiak in Uruk rond 294 BCE naar het astronomische programma SkySafari 6 Pro. Kijkrichting is zuid.

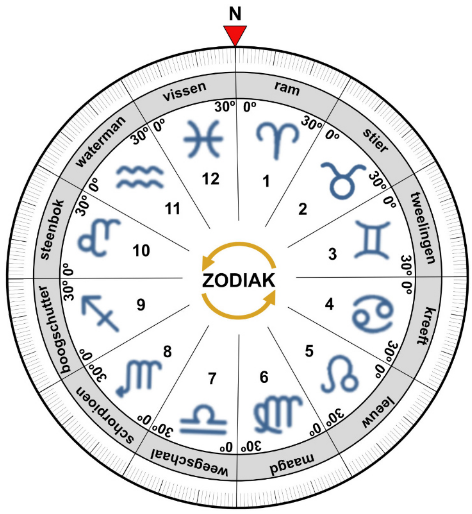
De 12 astronomische sterrenbeelden hebben niet de gelijke duur in dagen zoals de Babyloniërs dat voor een schematische en sterk gestileerde 360 dagen telling gingen gebruiken. Volgens Robert Powell (2007: 23) is de duur in dagen van deze 12 astronomische sterrenbeelden:

Ram	30	Leeuw	31	Boogschutter	30
Stier	31	Maagd	31	Steenbok	29
Tweeling	31	Weegschaal	30	Waterman	30
Kreeft	32	Schorpioen	30	Vissen	30

Rond 500 BCE hebben Babyloniërs de eerder gebruikte 17 sterrenbeelden teruggebracht naar 12 sterrenbeelden. Kort voor 400 BCE hebben ze deze omgezet in 12 gelijke zodiaktekens met ieder een duur van 30 dagen en 30 graden binnen de jaarlijkse omloop van de zon in 360° (afbeelding 5.21a, b; Brack-Bernsen and Hunger 1999: 280). Dus feitelijk ook hier weer 365 dagen die in deze schematische telling echter zijn omgezet in 360 dagen waarbij iedere dag 1° vertegenwoordigd.



Afbeelding 5.21 - De Babylonische schematische verdeling 12 zodiaktekens van ieder 30° over de 360° van een volledige omloop van het zonnejaar. Deze schematische verdeling is bekend als de sterren-zodiak. Kijkrichting is zuid.



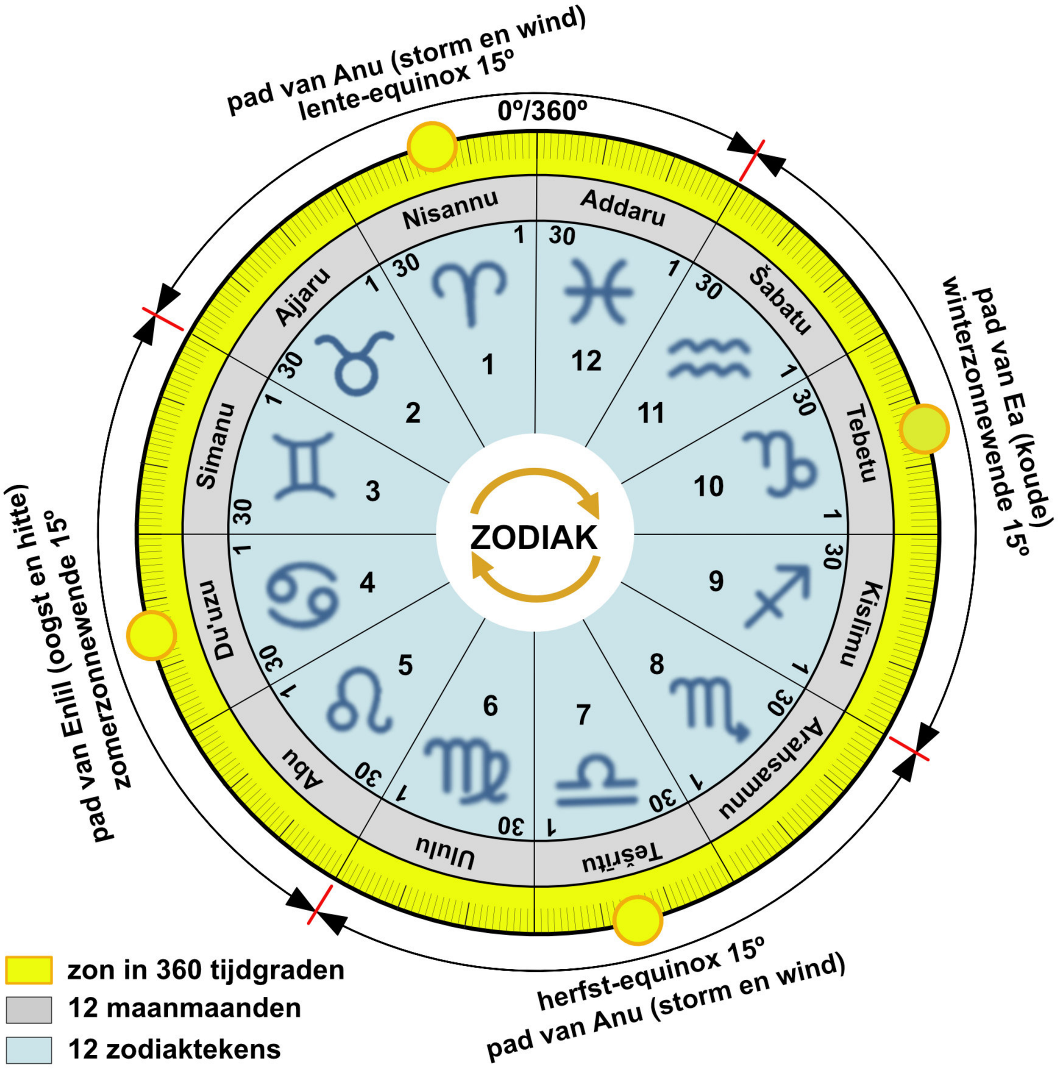
Figuur 5.21b - Dezelfde Babylonische schematische verdeling van de 12 sterrenbeelden van 30° elk over de 360° maar nu in spiegelbeeld en een kijkrichting naar het noorden.

En binnen de twee geïntegreerde bewegingen van zon en zodiak werd de derde basisbeweging ingepast, die van de maan met de schematische 12 maanmaanden van ieder 30 dagen (afbeelding 5.19 rechtsboven). Deze beweging paste naadloos in die van de zodiak. Hoewel het op deze manier toepassen van de maandelijkse omloop van de maan in het geheel niet overeenkomt met de astronomische werkelijkheid, werkte dit voor de Babyloniërs kennelijk prima voor hun astrologische voorspellingen en praktische berekeningen.

De Babyloniërs gebruikten voor de schematische maanmaand echter twee verschillende eenheden. De eerste was de 30° of 30 dagen per maanmaand in de jaarlijkse omloop van de 12 maanmaanden en zodoende naadloos paste in de 360° omloop van zon en zodiak. Deze eenheid werd toegepast in het *Kalendertext* schema (zie tabel in afbeelding 5.23).

De tweede eenheid is die van 13° wat een gemiddelde over 30 dagen is van de optelling van de verschillen per dag in de hoogte (longitude) van de maan ten opzichte van de ecliptica. Wanneer vanaf de 1e Babylonische maandag, dus de eerste zichtbaarheid van de smalle maansikkel na nieuwe maan, de dagelijkse longitude van de maan wordt gemeten met behulp van een astronomische programma, zoals SkySafari 6 Pro, dan blijkt dat de waarden voor de dagen van bijvoorbeeld een maanmaand van 30-05-700 BCE tot 06-06-700 BCE liggen tussen de 15° en 11° met over de periode van 30 dagen een totaal van ongeveer 395°. Dit is een gemiddelde van ± 13,18° per dag, afgerond 13° (tabel in afbeelding 5.28). En deze 13° werd het schematisch gemiddelde waarmee de Babyloniërs voor de dagen van de maanmaand in hun schematische 360 dagen telling werkten en toepasten in het *Dodekatemoria* schema (tabel in afbeelding 5.27; Brack-Bernsen 2004:111; Steele 2017: 74).

Uit het feit dat de Babyloniërs naast de schematische 360 dagen telling ook de maan-zon-kalender gebruikten valt af te leiden dat ze zeer goed wisten wat het echte patroon van de maan was maar dat ze dit in hun schematische 360 dagen telling dus duidelijk niet belangrijk vonden. Ze deden toen in feite al wat wij nu met onze huidige westerse kalender doen. Want ook wij gebruiken voor onze moderne kalender in principe jaarlijks een schematische 365 dagen telling die in de omlooptijd van 400 jaar lang niet altijd parallel loopt met het werkelijke aantal dagen van het zonnejaar maar aan het einde samen toch weer uitkomen op ongeveer hetzelfde moment in de tijd .



Afbeelding 5.22 - Drie geïntegreerde basisbewegingen in combinatie met de 12 namen van de maanden en de vier seizoenen met de equinoxen en zonnewendes zoals verwoord in tablet i 9-21 van de MUL.APIN (Kolev 2013: 3; Hunger and Pingree 1989: 73-75; Van der Waerden 1953: 221). Kijkrichting is zuid.

Integratie drie basisbewegingen

De drie bovengenoemde basisbewegingen werden door de Babyloniërs op ingenieuze wijze met elkaar geïntegreerd tot een samenhangend geheel. De basis hiervan is de jaarlijkse 360º beweging van de zon. We mogen natuurlijk niet vergeten dat de zon voor de 360º omloop in feite 365 zonnedagen nodig heeft. Dus iedere graad staat voor 365 ÷ 360 = 1,013888888 dag. Tijdens de 360º beweging van de zon wordt in een zonnejaar van 365 dagen ook de zodiak met z'n 12 tekens doorlopen. En in ieder teken van de zodiak heeft de maan een schematische omloop van 30 dagen.

Wanneer deze drie basisbewegingen in elkaar worden gevlochten ontstaat het plaatje zoals weergegeven in afbeelding 5.22. Naast deze drie basisbewegingen hadden de Babyloniërs ook een in de zodiak passend vast patroon voor de 4 astronomische seizoenen met de equinoxen en zonnewendes. De basis hiervoor is vastgelegd in de zogenoemde MUL.APIN in tablet i 9-21 (Hunger and Pingree 1989: 73-75; zie afbeelding 5.20). In werkelijkheid heeft de omloop van de zodiak een tijd van 20 minuten en ± 24,5 seconden meer nodig dan de omloop van de zon in een zonnejaar. Dit is de verhouding tussen sterrenjaar en zonnejaar dat wordt veroorzaakt door de precessie die leidt tot een verschuiving van 1° in de 72 jaren (Rochberg 1999: 57).

Schematische indeling maanmaanden

De 12 maanmaanden, hoewel de benaming zonnemaanden beter op z'n plaats zou zijn, zijn schematisch verdeeld in ieder 30 dagen. Lis Brack-Bernsen (2004) reconstrueerde de ware aard van het Babylonische *Kalendertext* schema (Steele 2017: 74) en toonde aan dat de *Kalendertext* is verkregen door rekenkundige manipulatie van het *Dodekatemoria* schema. Samengevat komt het erop neer dat iedere dag van de 12 maanmaanden verbonden is met een unieke positie in de sterren-zodiak en tegelijk in de ecliptica. Voor iedere maanmaand hadden de Babyloniërs dit in schema's of tabellen uitgewerkt op hun bekende klei-tabletten. Een beperkt aantal tabletten is gelukkig bewaard gebleven en bevinden zich nu in het British Museum (Brack-Bernsen and Steele 2004: 95).

Als voorbeeld van deze methodiek wordt een tabel voor maanmaand I gegeven (Brack-Bernsen 2004: 106) waarbij de 30 dagen als horizontale regels met tekst in 4 kolommen zijn weergegeven (zie tabel in afbeelding 5.23).

KALENDERTEXT MAANMAAND I					
maand	dag	nummer zodiakteken	graad	verschil vooruit	verschil achteruit
I	1	10	7		
I	2	7	14	83°	277°
I	3	4	21	83°	277°
I	4	1	28	83°	277°
I	5	11	5	83°	277°
I	6	8	12	83°	277°
I	7	5	19	83°	277°
I	8	2	26	83°	277°
I	9	12	3	83°	277°
I	10	9	10	83°	277°
I	11	6	17	83°	277°
I	12	3	24	83°	277°
I	13	1	1	83°	277°
I	14	10	8	83°	277°
I	15	7	15	83°	277°
I	16	4	22	83°	277°
I	17	1	29	83°	277°
I	18	11	6	83°	277°
I	19	8	13	83°	277°
I	20	5	20	83°	277°
I	21	2	27	83°	277°
I	22	12	4	83°	277°
I	23	9	11	83°	277°
I	24	6	18	83°	277°
I	25	3	25	83°	277°
I	26	1	2	83°	277°
I	27	10	9	83°	277°
I	28	7	16	83°	277°
I	29	4	23	83°	277°
I	30	1	30	83°	277°
II	1	11	7	83°	277°

Afbeelding 5.23 - Tabel van maanmaand 1 volgens het *Kalendertext* schema zoals dit is samengesteld door Brack-Bernsen and Steele (2004: 106).

Van links naar rechts is in de 1e kolom het maandnummer vermeld, in de tweede kolom het dagnummer binnen de maand, in de derde kolom het nummer van het zodiakteken en in de 4e kolom het aantal graden binnen dat zodiakteken. De laatste is tevens de directe verbinding met de positie in de omloop van de 360 tijdgraden van zon en zodiak. De zodiaktekens en de bijbehorende graden binnen het teken staan per dag steeds +83° vooruit van de volgende of -277° achteruit verwijderd van de vorige dag zoals in de 5e en 6e kolom aanvullend is weergegeven.

De reden om de +83° of dagen toe te kennen aan de beweging vooruit is logisch vanwege de natuurlijke bewegingsrichtingen aan de sterrenhemel die duidelijk zijn waar te nemen. Kijkend in zuidelijke richting beweegt de maan zich met de zodiak van links naar rechts (oost-west) langs de hemel waarbij de maan zich sneller verplaatst dan de zodiak. U moet in deze tabellen de astronomische werkelijkheid gewoon vergeten en u uitsluitend laten leiden door de mathematische logica van de Babyloniërs.

Zij hebben namelijk alleen gezocht naar een praktische, sluitende rekenkundige oplossing voor de 12 x 30 = 360 maandagen over de 360° of dagen waarbij iedere dag van de maanmaand een unieke positie kreeg in de omloop van zodiak en zon. Brack-Bernsen en Steele (2004: 116-117) hebben in een tabel aangetoond dat de Babyloniërs hierin uitstekend zijn geslaagd. De 83° of 83 dagen en de 277° of 277 dagen gebruikten ze als vaste waarden om snel vooruit of achteruit te kunnen rekenen om zodoende een datum of hemelpositie te kunnen vinden. Hier moeten echter beslist geen hoogdravende theorieën of formules achter worden gezocht.

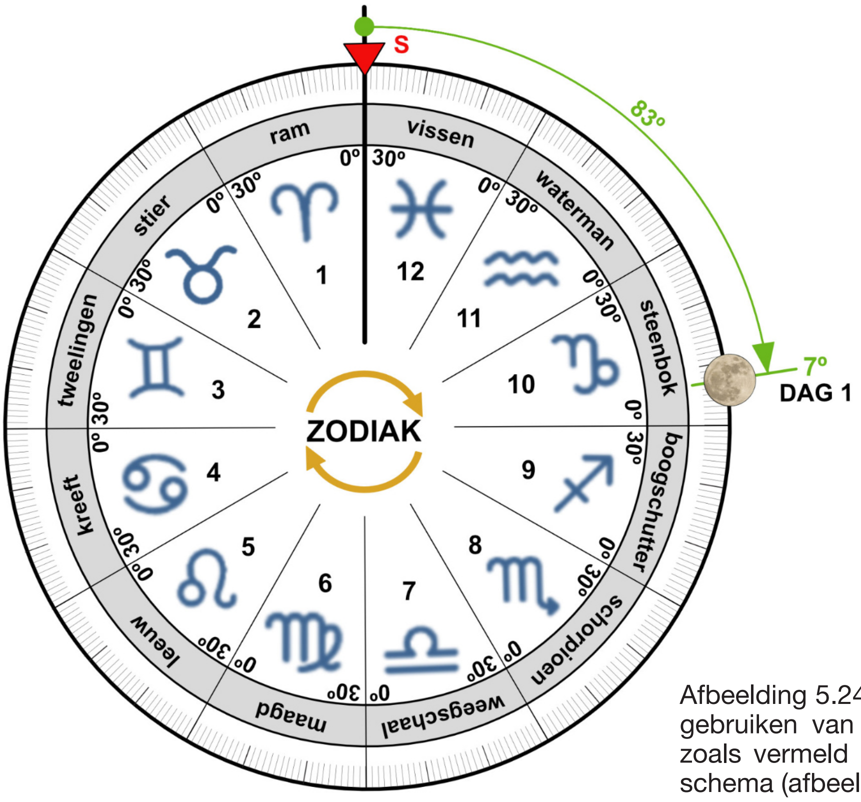
Hoewel ik voor de 83° en 277° in de literatuur geen astronomische verklaring heb kunnen vinden, heeft Lis Brack-Brensen (2004: 108-109) aangetoond dat bij het gebruik van deze eenheden de 12 omlopen van de schematische maanmaanden precies weer op het beginpunt van de 360° uitkomen. Want wanneer de 30e dag van de 12e maanmaand is bereikt, dus de laatste dag van de 360 dagen telling, komt deze uit op 30° van het 12e teken van de zodiak, het teken van de vissen. Dit kan ook worden geschreven als 0° in het teken Aries (ram) waar de volgende omloop van de schematische 360 dagen telling weer begint. Dus feitelijk een rekenkundige oplossing.

De werking van deze telling per maanmaand is net zo eenvoudig als ingenieus. Aan de hand van de tabel in afbeelding 5.23 heb ik de eerste 4 regels tekst van de tabel voor maanmaand I in een rood kader geplaatst. In het nu volgende zal ik per regel tekst laten zien hoe eenvoudig dit in de praktijk werkt. De systematiek hierachter is echter een knap staaltje rekenwerk.

Tekst regel 1
De 1e regel in de tabel van afbeelding 5.23 zegt dat in maand I op dag 1 de maan in zodiakteken 10 (steenbok) op 7° in dit teken staat. Het gaat in deze tabel dus steeds om een koppeling tussen een datum (maanmaand en dag) en een positie in de zodiak (zodiakteken en graad). De startpositie is in de afbeeldingen 5.24a en 5.24b weergegeven met een groene stip. De vraag is of de Babyloniërs de dagen in deze tabel naar rechts (83 graden of dagen, zie afbeelding 5.24a) of naar links (277 graden of dagen, zie afbeelding 5.24b) telden. Kijkend in zuidelijke richting is de beweging van zodiak en maan 83° of 83 dagen rechtsom voor het tellen naar de volgende positie van de maan. Vermoedelijk moet de zodiak in dit geval als een statisch object worden beschouwd waarlangs de maan zich beweegt. De 277 graden of 277 dagen linksom werden wellicht voor het terugtellen gebruikt.

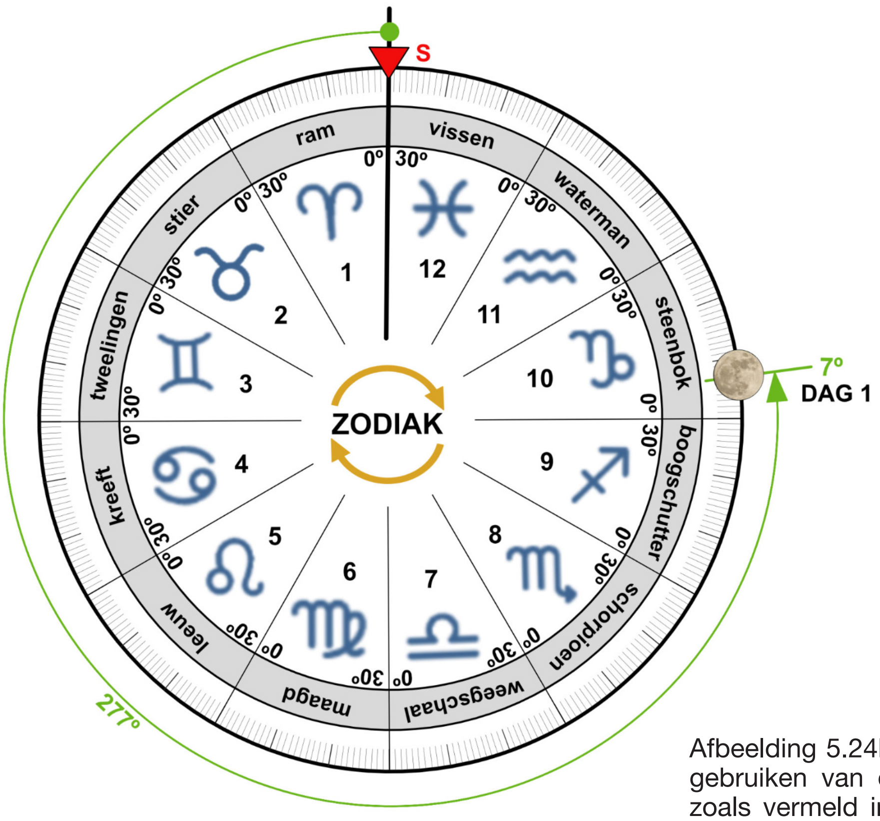
Tekst regel 2
De tweede regel tekst geeft als datum weer maand I maar nu dag 2 en als positie voor de maan het zodiakteken 7 (weegschaal) op 14° in dit teken. Dus 2 zodiaktekens en 23° verder dan de vorige. Deze locatie is in afbeelding 5.25 weergegeven met een blauwe stip. Aangezien de maan dagelijks van oost naar west langs de hemel trekt en het hier om de 2e dag van maanmaand I gaat, is het de logica zelf dat deze 2e dag dus op 83° of 83 dagen verder ligt dan dag 1 van maanmaand I. En het is ook weer de logica zelf dat deze 2e dag terug tellend dan 360° - 83° = 277° of 277 dagen van de 1e dag ligt. Bespaar u de moeite om hier een astronomische logica in te vinden want die is er niet.

S = Startpunt van het jaar in maanmaand 1 op dag 0 en 0º van het zodiakteken Aries (ram)



Afbeelding 5.24a - Het per regel rechtsom (+83º) gebruiken van datum en positie van de maan zoals vermeld in de tabel van het Kalendertext schema (afbeelding 5.23). Kijkrichting is zuid.

S = Startpunt van het jaar in maanmaand 1 op dag 0 en 0º van het zodiakteken Aries (ram)

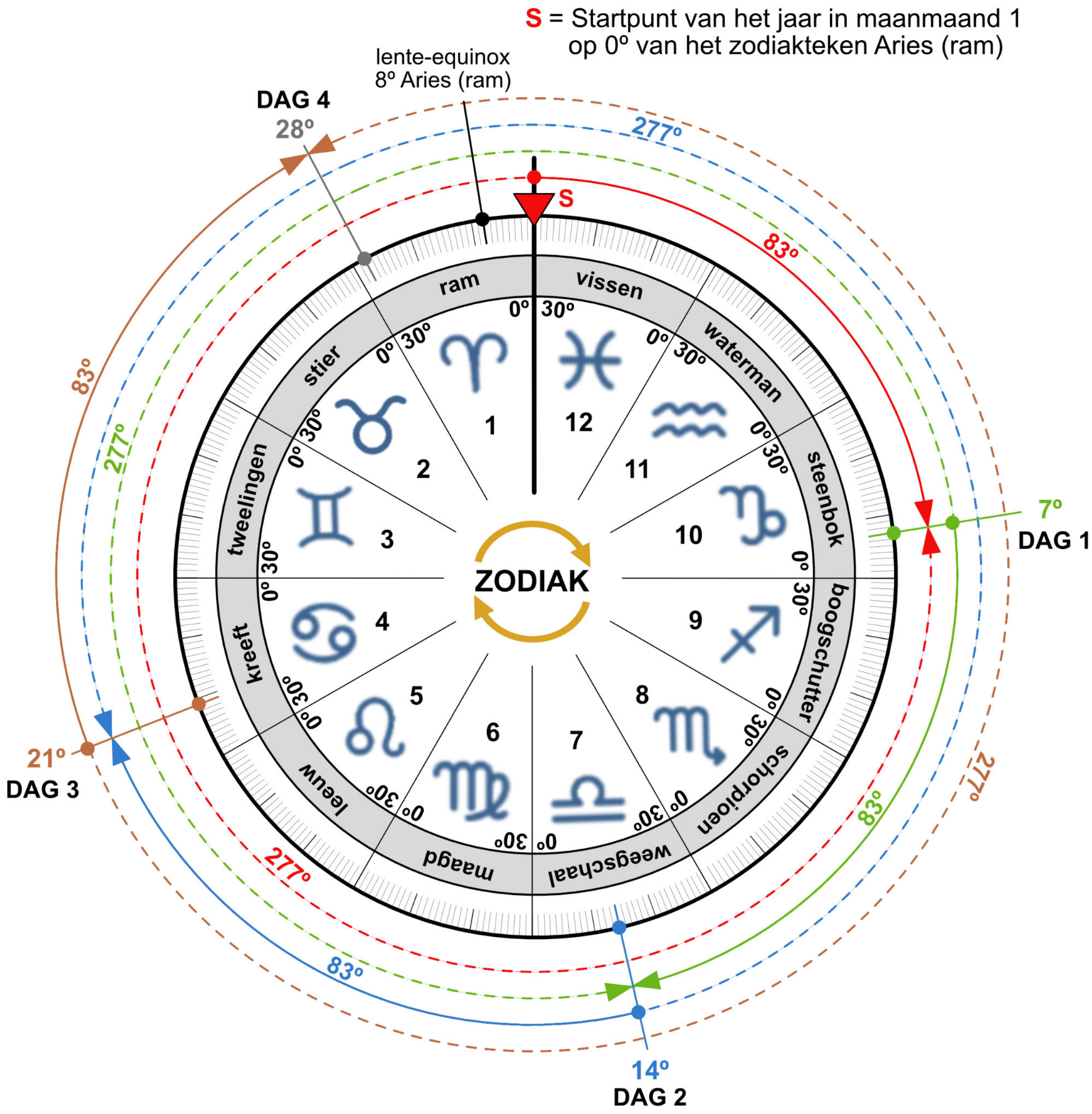


Afbeelding 5.24b - Het per regel linksom (-277º) gebruiken van datum en positie van de maan zoals vermeld in de tabel van het Kalendertext schema (afbeelding 5.23). Kijkrichting is zuid.

Tekst regel 3
De derde regel tekst in de tabel in afbeelding 5.23 zegt dat op de 3e dag in maanmaand I de maan in het zodiakteken 4 (kreeft) op 21° in dit teken stond. Ook weer 83° of 83 dagen verder dan dag 2. Deze positie in de zodiak is weergegeven met een bruine stip (afbeelding 5.25).

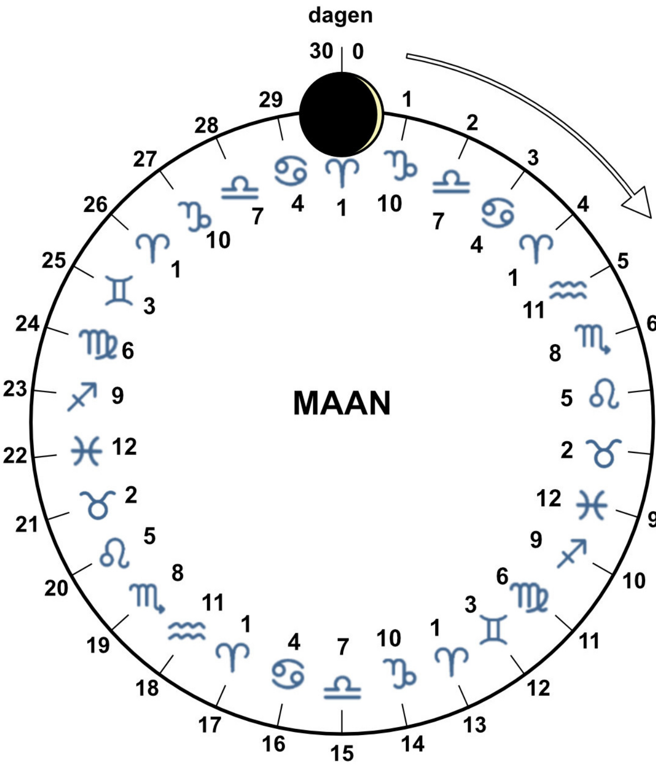
Tekst regel 4
De vierde regel zegt dat in maanmaand I op dag 4 de maan in het zodiakteken 1 (Ram) op 28° stond. Ook weer 83° of 83 dagen verder dan dag 3 van maanmaand I. Deze positie is met een rode stip aangegeven (afbeelding 5.25).

In afbeelding 5.25 is weergegeven hoe de boven besproken eerste 4 dagen van de tabel (rode kader linksboven in afbeelding 5.23) van maanmaand 1 en hun relatie met de tekens en graden van de zodiak verlopen. Het beste kan men zich deze 360° omloop van de zodiak voorstellen als een ronde schijf met 12 tekens die rechtsom draait met het rode driehoekje bovenaan op 0° van teken Aries (ram) als vast startpunt of nulpunt ten opzichte van deze rechtsom draaiende schijf.



Afbeelding 5.25 - De eerste vier dagen van maanmaand 1 uit het *Kalendertext* schema (afbeelding 5.23) in relatie tot de 12 tekens van de zodiak met onderlinge afstanden van 83° en 277°. Kijkrichting is zuid.

Wanneer nu de 30 dagen van maanmaand I uit de tabel van afbeelding 5.23 met hun bijbehorende zodiaktekens en -nummers achter elkaar in een cirkel van 360° worden gezet wordt het steeds verspringen met 2 of 3 zodiaktekens duidelijk (afbeelding 5.26).



Afbeelding 5.26 - Gevisualiseerde weergave van de relatie tussen de dagen van de 1e maand en en hun bijbehorende zodiakteken met nummer volgens de kolommen 2 (dagnummer in de buitenste ring van nummers) en 3 (teken van de zodiak met nummer) in binnenste twee ringen met tekens en nummers) van de tabel van afbeelding 5.21. Kijkrichting is zuid.

Voor het nu volgende is het belangrijk om de kijkrichting van de waarnemer te vermelden. Wanneer de waarnemer namelijk in noordelijke richting kijkt zullen zon, maan en sterren linksom draaien, dus tegen de wijzers van de klok in. Kijkend naar het zuiden echter draaien zon, maan en sterren rechtsom, dus met de wijzers van de klok mee. Lis Brack-Bernsen en John Steele bijvoorbeeld (1999: 288; 2004: 98; Steele 2011: 336) gaan van een noordelijke kijkrichting (linksom) uit zoals de Babylonische astrolab B, terwijl ik in deze bespreking van een zuidelijke kijkrichting (rechtsom) uit ga. Het principe is hetzelfde. Overigens kenden de Ouden de kompasrichtingen oost, noord, west en zuid helemaal niet. Ze werkten met veel ruimere begrippen en gebieden. De Babyloniërs bijvoorbeelden gebruikten de ”paden van Anu, Enlil en Ea” om de vier hoofdrichtingen aan te duiden. Of de 12 poorten voor zonsopkomst en zonsondergang. En de begrippen ‘voor’ en ‘achter’, of ‘boven’ en ‘beneden’ om bepaalde hemellichamen ten opzichte van andere hemellichamen aan te duiden.

Voor de tabel in figuur 5.23 en de visualisatie hiervan in figuur 5.25 heb ik het zuiden als de kijkrichting gebruikt waardoor de leesrichting rechtsom is, met de wijzers van de klok mee. De afstand tussen de dagen is in deze leesrichting altijd +83°. Achterwaarts gemeten liggen de dagen altijd -277° uit elkaar. Bij een noordelijke kijkrichting zijn deze waarden uiteraard precies omgekeerd namelijk -83° en +277°. Voor de werking maakt dit echter verder niets uit. Deze 83° en 277° als afstand tussen alle 30 maandagen zijn wel constante waarden die werden bepaald en gebruikt door de oude Babyloniërs. Door dit consequent toe te passen, keert de telling na 12 maanmaanden van 30 dagen exact terug naar het feitelijke beginpunt op dag 0 (of 0º) van het zodiakteken ram.

Bovendien gebruikten de Babyloniërs in hun schematische telling van 360 dagen ook het zogenaamde *Dodekatemoria* schema. Dit schema gaf de dagelijkse positie van de maan weer ten opzichte van de zodiak en de zon (figuren 5.26, 5.27 en 5.28).

DODEKATEMORIA SCHEMA				
nummer zodiakteken	**graad**	**verschil in graden met vorige dag**	**maand**	**dag**
1	13		I	1
1	26	13°	I	2
2	9	13°	I	3
2	22	13°	I	4
3	5	13°	I	5
3	18	13°	I	6
4	1	13°	I	7
4	14	13°	I	8
4	27	13°	I	9
5	10	13°	I	10
5	23	13°	I	11
6	6	13°	I	12
6	19	13°	I	13
7	2	13°	I	14
7	15	13°	I	15
7	28	13°	I	16
8	11	13°	I	17
8	24	13°	I	18
9	7	13°	I	19
9	20	13°	I	20
10	3	13°	I	21
10	16	13°	I	22
10	29	13°	I	23
11	12	13°	I	24
11	25	13°	I	25
12	8	13°	I	26
12	21	13°	I	27
1	4	13°	I	28
1	17	13°	I	29
1	30	13°	I	30
2	0	13°	II	0

Afbeelding 5.27 - Tabel met het *Dodekatemoria* schema zoals weergegeven door Brack-Bernsen and Steele (2004: 111).

Omdat dit lastig te omschrijven is, heb ik dit gevisualiseerd in afbeelding 5.29. De kern van deze methodiek is dat de maan zich iedere dag 13° ten opzichte van de baan van de ecliptica verplaatst en daardoor in de totale omloop van 30 dagen 30 x 13° = 390° moet doorlopen om weer gelijk te komen met het beginpunt van de omloop van de zon (zie gemeten verloop in afbeelding 5.28). Deze methodiek is in de Babylonische tabel met het *Dodekatemoria* schema in afbeelding 5.27 weergegeven (Brack-Bernsen and Steele 2004: 111). In deze tabel hebben de Babyloniërs dus steeds de perioden van 13° toegepast. De 3e kolom met deze 13° verschil heb ik als aanvulling toegevoegd.

Volgens Steele (2017: 74) heeft de maan schematisch 30 dagen nodig om een volledige omloop van 360° in de zodiak af te leggen. Maar de maan moet nog 30° verder reizen om de zon weer in te halen, dus de totale afgelegde afstand is 360° + 30° = 390°. Dit betekent dat de maan per dag 390° ÷ 30 = 13° aflegt.

MAANMAAND VAN 30 DAGEN

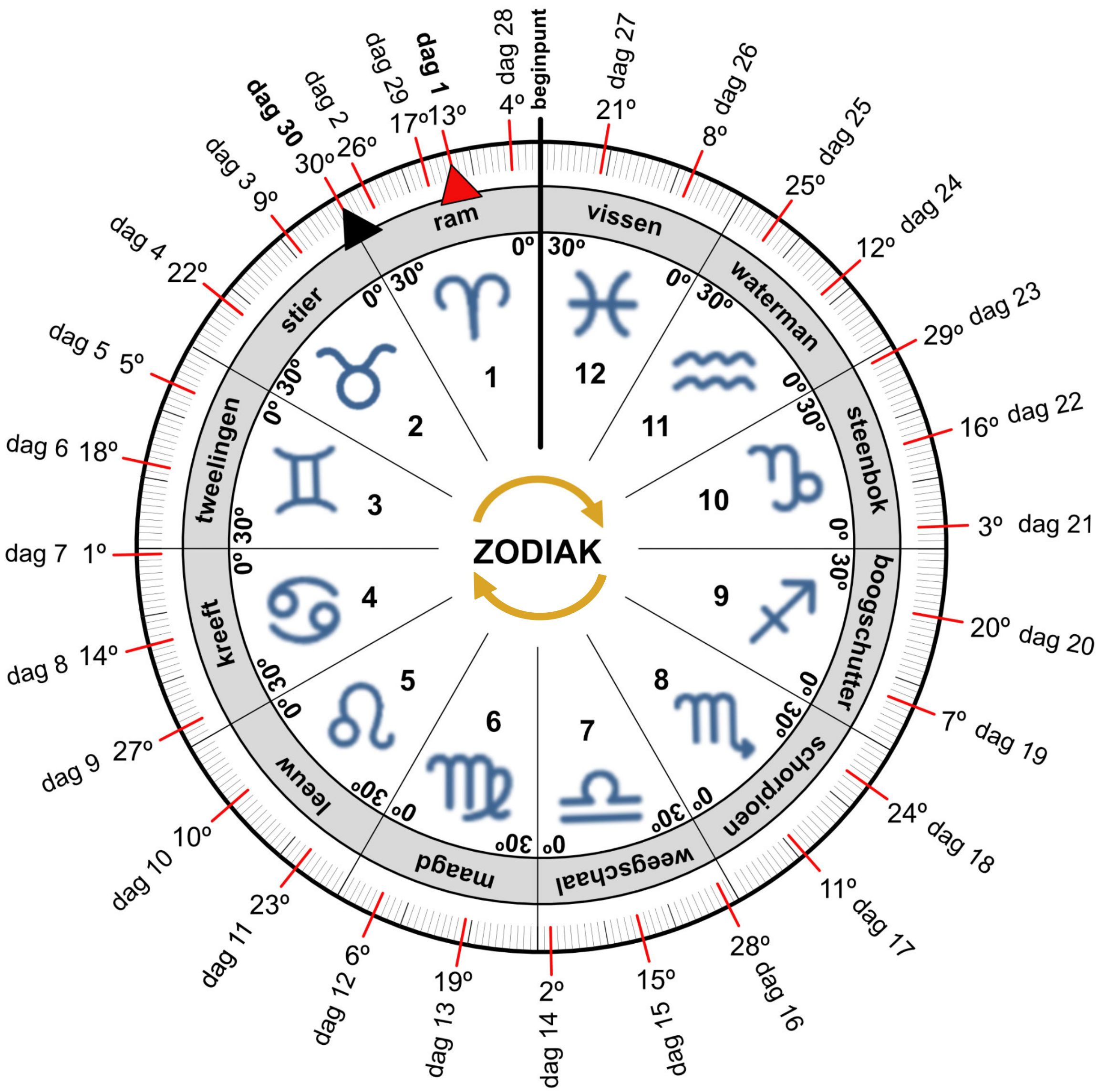
verstreken dag	300 BCE	Ecliptic longitude	verschil	graden	minuten
0	26-03	004° 08’			
1	27-03	016° 51’	12° 43’	12	43
1	28-03	029° 46’	12° 55’	12	55
1	29-03	042° 55’	14° 09’	14	9
1	30-03	056° 20’	13° 25’	13	25
1	31-03	070° 00’	13° 40’	13	40
1	01-04	083° 56’	13° 57’	13	57
1	02-04	098° 10’	14° 14’	14	14
1	03-04	112° 41’	14° 31’	14	31
1	04-04	127° 30’	14° 49’	14	49
1	05-04	142° 34’	15° 05’	15	5
1	06-04	157° 51’	15° 17’	15	17
1	07-04	173° 14’	15° 23’	15	23
1	08-04	188° 35’	15° 21’	15	21
1	09-04	203° 45’	15° 10’	15	10
1	10-04	218° 34’	14° 49’	14	49
1	11-04	232° 59’	14° 25’	14	25
1	12-04	246° 55’	13° 56’	13	56
1	13-04	260° 22’	13° 27’	13	27
1	14-04	273° 21’	12° 59’	12	59
1	15-04	285° 59’	12° 38’	12	38
1	16-04	298° 20’	12° 21’	12	21
1	17-04	310° 32’	12° 12’	12	12
1	18-04	322° 38’	12° 06’	12	6
1	19-04	334° 47’	12° 09’	12	9
1	20-04	347° 04’	12° 17’	12	17
1	21-04	359° 31’	12° 27’	12	27
1	22-04	012° 13’	12° 42’	12	42
1	23-04	025° 11’	12° 58’	12	58
1	24-04	038° 26’	13° 15’	13	15
1	25-04				
				381	860
30				395	14,33
30				13,18	

Nieuwe maan

Volle maan

Afbeelding 5.28 - Tabel met het verloop van de ecliptic longitude van de maan in 300 BCE met een afgerond gemiddelde per dag van 13°.

Maar de concrete reden van de afgeronde 13° is dus dat de maan iedere dag tussen de 12° en 15° hoger of lager verschijnt ten opzichte van de ecliptica op de nulmeridiaan (afbeelding 5.28). En aangezien de maan volgens de Babylonische schematische telling 30 dagen moet afleggen betekent dit 30 x 13° = 390°. Als ezelsbruggetje gebruikten de Babyloniërs ook nog twee natuurlijke verschijnselen. Ten eerste komen zon en maan tijdens nieuwe maan vrijwel gelijk op in de oostelijke regio op om ook vrijwel gelijk weer in de westelijke regio onder te gaan. Ten tweede komt bij volle maan de zon vrijwel gelijk op met de ondergaande maan.



Afbeelding 5.29 - Gevisualiseerde weergave van de 30 maandagen van maand 1 uit de tabel met het *Dodekatemoria* schema in afbeelding 15.27 zoals deze op onderlinge afstanden van 13° in de tabel zijn vermeld. Kijkrichting is zuid.

Om de praktische werking inzichtelijk te maken heb ik de in de *Dodekatemoria* tabel van afbeelding 5.27 genoemde dagnummers van maanmaand I (datums) in afbeelding 5.29 op de in de tabel aangegeven posities in de zodiak uitgebeeld. In zowel de tabel van afbeelding 5.27 als in de gevisualiseerde weergave in afbeelding 5.29 zijn het begin- en eindpunt van de omloop aangeduid door respectievelijk een rode en een zwarte driehoek. Duidelijk is te zien dat het eindpunt (zwarte driehoek) 30° voorbij het beginpunt (0°) van het teken ram van de zodiak ligt. Hier bevinden zich ook de dagnummers 28 (4°), 29 (17°) en 30 (30°).

Liz Brack-Bernsen (2004: 119, tabel 8) heeft het volledige *Dodekatemoria* schema voor het gehele jaar van 360° met 12 maanmaanden gereconstrueerd. Hierin is duidelijk het zich iedere maand herhalende patroon van de 13° en het iedere maand 1 positie opschuiven van de tekens van de zodiak te zien.

Dit patroon van het *Dodekatemoria* schema voor maand I herhaald zich in de overige 11 maanden maar wel met de aantekening dat iedere omloop steeds 1 dag later begint (zie onderste regel in tabel afbeelding 5.27).

De tekens van de zodiak en de graden uit de tabel van het *Dodekatemoria* schema uit afbeelding 5.27, corresponderen 1 op 1 met de 360° beweging van de zon (Brack-Bernsen 2014: 110; Steele 2017: 74). Dus de 1e graad of 1e dag van de omloop van de zon van 360° komt overeen met de positie van 13° in zodiak teken 1 (ram) van maanmaand I en dag 1 uit het *Dodekatemoria* schema. De 2e graad of 2e dag van de beweging van de zon komt overeen met de 2e regel uit de tabel namelijk de positie 26° in teken 1 (ram), zoals ook in afbeelding 5.27 weergegeven.

Dus het *Dodekatemoria* schema en de graden en dagnummers van de 360° omloop van de zon kunnen in een tabelvorm naast elkaar worden gezet zoals in afbeelding 5.30 is te zien. Dit geldt uiteraard ook voor de overige 11 maanden van het *Dodekatemoria* schema.

DODEKATEMORIA SCHEMA					**360° ZONNEJAAR**	
nummer zodiakmaand	**graad**	**verschil in graden met vorige dag**	**maand**	**dag**	**graad**	**dagnummer**
1	13		I	1	1°	1
1	26	13°	I	2	2°	2
2	9	13°	I	3	3°	3
2	22	13°	I	4	4°	4
3	5	13°	I	5	5°	5
3	18	13°	I	6	6°	6
4	1	13°	I	7	7°	7
4	14	13°	I	8	8°	8
4	27	13°	I	9	9°	9
5	10	13°	I	10	10°	10
5	23	13°	I	11	11°	11
6	6	13°	I	12	12°	12
6	19	13°	I	13	13°	13
7	2	13°	I	14	14°	14
7	15	13°	I	15	15°	15
7	28	13°	I	16	16°	16
8	11	13°	I	17	17°	17
8	24	13°	I	18	18°	18
9	7	13°	I	19	19°	19
9	20	13°	I	20	20°	20
10	3	13°	I	21	21°	21
10	16	13°	I	22	22°	22
10	29	13°	I	23	23°	23
11	12	13°	I	24	24°	24
11	25	13°	I	25	25°	25
12	8	13°	I	26	26°	26
12	21	13°	I	27	27°	27
1	4	13°	I	28	28°	28
1	17	13°	I	29	29°	29
1	30	13°	I	30	30°	30
2	0	13°	II	0	31°	31

Afbeelding 5.30 - Links de tabel met het *Dodekatemoria* schema zoals weergegeven door Brack-Bernsen and Steele (2004: 111) en rechts als aanvulling de tabel met de corresponderende 360° en 360 dagen van het ideale jaar van de zon.

Deze 1 op 1 overeenkomst tussen de positie van de maan in de zodiak en de dag in de 360° of 360 dagen omloop van de zon kan daarom rechtstreeks worden vertaald door de twee als tabel naast elkaar te leggen. In de tabel van afbeelding 5.30 is het *Dodekatemoria* schema (uit afbeelding 5.27) geplaatst naast een tabel met de eerste 30 dagen van de 360° en 360 dagen omloop van het ideale schematische jaar van de zon. Anders gezegd: hiermee zou puur rekenkundig de dag van het ideale jaar van de zon kunnen worden bepaald aan de hand van het nummer van de maanmaand en de positie van de maan in de zodiak.

Een belangrijk gegeven in de boven beschreven methodiek van de 360 dagen telling is dat de jaarlijkse omloop van de zon in 360° een astronomisch feit is. Voor deze omloop werden in de boven beschreven methodiek echter niet 365 maar 360 dagen gehanteerd. Maar omdat ieder nieuwe jaar steeds weer begon met de lente-equinox verstreken er in werkelijkheid dus wel degelijk 365 zonnedagen. Daarbij doorloopt de zon jaarlijks ook de zodiak in 360°.

Het principe van het begin van het jaar is schematisch vastgelegd in het *Dodekatemoria* schema waarin wordt gestart met dag 0° of 360° van het zonnejaar en met de zon en maan in conjunctie op een positie van 0° of 360° in de zodiak. Op die dag stond de zon op ongeveer 1° in het teken van Aries (ram) en de maan op 13° in Aries (Brack-Bernsen and Steele 2004: 111; Steele 2018: 100; zie ook afbeelding 5.29). Als gevolg van de precessie is dit later voor de maan door de Grieken op 8° in Aries gesteld.

Een onbeantwoorde vraag is echter of in de boven besproken methodiek werd uitgegaan van de schematische 360 zonnedagen, maar dan met een duur van ieder 365 ÷ 360 = 1,0138888 zonnedag, of dat er jaarlijks 5 extra zonnedagen werden toegevoegd die overigens verder nergens worden vermeld. Ook de seizoenpunten (equinoxen en zonnewendes) staan in de schematische methode namelijk steeds op 90 dagen van elkaar (Van der Waerden 1952-1953: 221, 223; Ratzon 2016: 144-145; zie ook afbeelding 5.20) dus daaruit is evenmin iets af te leiden. Volgens mij gebruikten ze gewoon de 365 zonnedagen voor de 360° omloop waarbij de 360 dagen van de telling rekenkundig dan een duur hadden van 1,0138888 zonnedag waardoor deze telling keurig in de maat van de seizoenen lopen.

Onduidelijk is ook wat de Babyloniërs over de langere termijn deden met het schematisch ieder nieuwe jaar afstemmen van de lente-equinox op de 1e graad in Aries. De equinoxen gaven ze aan met de tekst ”drie *minas* is een dagtijd wacht, 3 *minas* is een nachtelijke wacht”. Met *minas* wordt hier een wacht van ongeveer 4 van onze uren bedoeld. Zij noemden dit ‘de dag is in balans’, wij noemen het de lente- of herfstequinox. Dit afstemmen van de equinox op de 1e graad van Aries zal tot tussen ongeveer de 200 tot 250 jaar wel goed zijn gegaan maar moet daarna als gevolg van de precessie toch met zo’n 3° zijn gaan afwijken (zie ook Van der Waerden 121-122). Niet duidelijk is hoe de Babyloniërs hiermee omgingen.

Vanwege de al op vele manieren aangetoonde uitwisseling van astronomische en astrologische kennis tussen de Babyloniërs en de Grieken is het dan ook zeker niet uitgesloten dat de oude Griekse astronomen deze systematiek hebben overgenomen en zo ook voor hun metingen van de duur van het zonnejaar zijn gebruikt. Dit verklaart ook de in de Almagest door Ptolemy vermeldde observaties in de avond en nacht met betrekking tot de duur van het zonnejaar (afbeelding 5.9).

Deze methodiek van het in de donkere uren meten van de tijdsduur tussen een fictieve zon en een vaste ster of sterrengroep wordt door Kugler (1910: 5) het sterren-zonnejaar genoemd. Dus de terugkeer van de zon na een jaar naar dezelfde ster.

Cohen (1993: 4) verwoordt de methode van het meten van een jaar in het oude Mesopotamië op treffende wijze: ”Het Mesopotamische jaar was in feite een zonnejaar in het keurslijf van de maan.”

5.11 Inconsequent gebruik waarden

In de literatuur worden regelmatig de waarden van eenheden van tijd op inconsequente wijze met elkaar vergeleken. Ik zal als voorbeeld een citaat geven zoals dat over maankalenders en zonnejaren vaak werd en wordt gebruikt:

”The moon-year and the solar year are different things, as the solar year is the time of the sun’s revolution through 12 signs, that is, 365 1/4 days, while the moon-year contains 12 lunar months, that is, 354 days” (Thomas L. Heath 1932: 136).

Er zitten twee interessante aspecten in dit citaat. De eerste is de vermelding dat het zonnejaar de tijd is van de omwenteling van de zon door de 12 tekens (sterrenbeelden). Dit onderstreept nog eens dat de 365 1/4 niet de duur van het natuurlijke zonnejaar is maar de berekende duur van de zon (overdag) door de 12 sterrenbeelden (‘s nachts). Dus Heath gebruikt hier de duur van het gemiddelde Juliaanse kalenderjaar.

Maar dit is ook wat Geminos vermeldt (zie 5.6) en lijkt erg veel op de gehanteerde methodiek van de schematische 360 dagen telling van de Babyloniërs waarbij de zonnedag als datum wordt gevonden aan de hand van de positie van de maan in de zodiak (zie bespreking onder 5.9).

Het tweede aspect is dat de door Heath genoemde 354 dagen zoals hij ze hier heeft vermeldt in feite zijn uitgedrukt in zonnedagen. Want als Heath consequent was geweest had hij hier 354,367 dagen moeten vermelden. Pas dan zijn de twee waarden in hetzelfde systeem van tijdrekening gezet en kunnen ze op de juiste manier met elkaar worden vergeleken.

Dit is slechts één voorbeeld uit de vele die ik in de literatuur ben tegengekomen, bij zowel de 19 jaren cyclus als de 360 dagen telling (zie hoofdstuk 9). Dit inconsequent vergelijken van waarden van verschillende eenheden werkt misleidend voor nietsvermoedende lezers.

6 - Het sterrenjaar

Binnen de oude culturen, zoals die in het Midden-Oosten en Midden-Amerika, was het vooral de priesterkaste die zich verdiepte in de fascinerende en indrukwekkende verschijnselen van de nachtelijke sterrenhemel. Naast de zon overdag en de maan en planeten in de nacht, maakten ze in hun systemen van tijdrekening ook gebruik van opvallende sterren en sterrengroepen zoals de Plejaden, Sirius, Spica, Regulus en Orion.



En zolang deze oude priesters en later de eerste astronomen zich uitsluitend met deze sterren en sterrengroepen bezighielden was er niets aan de hand. Maar zodra ze probeerden een verband te leggen tussen bijvoorbeeld een ster en de zon of de maan werden ze direct geconfronteerd met twee verschillende systemen van tijdrekening die niet synchroon lopen met elkaar. Want een zonnejaar heeft in een omloop van 360° een andere duur dan een sterrenjaar, maar dat wisten de Ouden in het verre verleden nog niet omdat ze het verschil niet kenden tussen een sterrenjaar en een zonnejaar.

6.1 Gebruik van het sterrenjaar

Volgens Otto Neugebauer (1969: 140) was het pas in de tijd van Hipparchus (2e eeuw BCE), zoals door Ptolemy 400 jaar later (2e eeuw CE) genoemd in zijn ‘Almagest’, dat men het verschil leerde kennen tussen een sterrenjaar en een tropisch jaar. Het was Hipparchus die volgens Ptolemy (Toomer 1984: 131, H192) als eerste een verschil in duur tussen het natuurlijke zonnejaar en het sterrenjaar opmerkte dankzij metingen van de sterren Spica en Regulus ten opzichte van de herfst-equinox (Pannekoek 1989: 126; North 2008: 51).

Omdat naast het zonnejaar en de zonnekalender ook met de maankalender werd gewerkt, ligt het voor de hand dat veel waarnemingen in de donkere uren werden gedaan met in de oudheid vele sterren meer zichtbaar aan de hemel dan tegenwoordig met onze lucht- en lichtvervuiling. En de geschiedenis leert ons ook dat er vele waarnemingen werden gedaan aan bepaalde opvallende sterren en sterrengroepen (Horowitz 1996: 37, 38).

6.2 Voorbeelden gebruikte sterren(groepen)

Een van de bekendste voorbeelden van het gebruik van een ster was Sirius, bij de Egyptenaren bekend als de naam van de godin Sopdet en in oud Egyptisch *spdt*, wat de Grieken later vertaalden als Sothis. Sirius verscheen (in Memphis) na 70 dagen onzichtbaar te zijn geweest, voor het eerst als heliacale ster enkele graden boven de horizon kort voor de opkomst van de zon en bleef op deze dag ongeveer 15 minuten zichtbaar (Teije de Jong 2006: 432; zie ook afbeelding 6.8). Dit moment viel volgens de overlevering samen met de beginnende vloed van de Nijl en het begin van het nieuwe jaar en Sirius werd daarom door de Egyptenaren ook wel "brenger van de vloed" of "opener van het jaar" genoemd.

Met verwijzing naar de Sothis-cyclus wordt in de literatuur regelmatig vermeld dat de ster Sirius ieder jaar 1/4 dag opschuift met als gevolg dat dit na 4 jaar opliep tot een volledige dag. Volgens diezelfde berichten zou daarom ieder 4e jaar een schrikkeldag moeten worden ingevoegd, zoals ook verwoord in het 'decreet van Canopus' van koning Ptolemy III (Wallis Budge 2014: hoofdstuk II 18-22). Maar Sirius is een ster en die moet gehoorzamen aan de wetmatigheden van de natuur en valt dus onder het sterrenjaar.

Parker (1950: 32) vermeldt dat Sirius als gevolg van precessie over een periode van 120 jaar ± 1 dag verschuift ten opzichte van de zomerzonnewende terwijl andere sterren in de ecliptica ongeveer 1 dag in de 72-75 jaar verschuiven als gevolg van de precessie. Volgens Tije de Jong (2006: 438) is de oorzaak van deze kleinere verschuiving te danken aan het feit dat Sirius ver zuidelijk van de ecliptica ligt.

Hoewel alle veronderstellingen en berekeningen bijzonder interessant zijn geven deze helaas geen antwoord op de vraag wat de Ouden in werkelijkheid zagen rond 2000 BCE. Om dit te visualiseren heb ik met het astronomische programma SkySafari 6 Pro de ster Sirius en z'n verschuiving als heliacale ster langs de horizon gedurende verschillende perioden in de afbeeldingen 6.5-6.9 in beeld gebracht. Duidelijk is dat de verschuiving over deze lange perioden zeer langzaam gaat.

Bij de oude Mexicanen waren het de Plejaden, de 'Zeven Zusters', die een belangrijke rol speelden in de tijdrekening van de cyclus van 52 jaren waarop het kalendersysteem van de oude Mexicanen was gebaseerd. Ook zij hebben overigens duizenden jaren lang het zonnejaar met 365 zonnedagen gebruikt als basis voor hun tijdrekening en kalenders. Het verstrijken van 52 jaren werd grootschalig gevierd door het overal doven van de vuren met als nachtelijk hoogtepunt het al dan niet verschijnen van de Plejaden na een bepaalde periode van afwezigheid. Zodra deze sterrengroep weer verscheen werden de vuren opnieuw ontstoken. Hiervan hing voor- of tegenspoed af. En ook hier was het Ptolemy die in zijn 'Almagest' vermeld dat de Plejaden als gevolg van precessie 1° per 100 jaar naar achteren verschuiven (Toomer 1984: 335). Niet echt nauwkeurig dus.

6.3 Duur algemeen sterrenjaar

Omdat de sterren en sterrenstelsels ontzettend ver van ons vandaan staan lijken ze onbeweeglijk te zijn. En net als bij de zon is de ogenschijnlijke beweging die wij denken te zien optisch bedrog en het gevolg van de aarde die zowel om haar as als om de zon draait. Ook maakt de aardas een wiebelende tolbeweging die precessie wordt genoemd. Dit laatste wordt in hoofdstuk 7 verder toegelicht.

De duur van een gemiddeld algemeen sterrenjaar weergegeven in de westerse standaardtijd voor epoche 2000.0 CE is 365,256363 dagen (365 dagen, 6 uren, 9 minuten en 9,76 seconden). Dit kon overigens door de Ouden en vanwege de onnauwkeurigheid van de toenmalige meetinstrumenten, makkelijk worden geïnterpreteerd als 365,25 dagen als duur van een zonnejaar. Een gemiddeld zonnejaar of tropisch jaar heeft een voor epoche 2000.0 CE weergegeven duur in westerse kloktijd van 365,242189 dagen (365 dagen, 5 uren, 48 minuten en 45,2 seconden). Een zonnejaar heeft dus een iets kortere duur in omloop dan een sterrenjaar.

Het verschil in duur tussen een gemiddeld algemeen sterrenjaar en een gemiddeld zonnejaar volgens epoche 2000.0 CE is ongeveer:

Gemiddeld algemeen sterrenjaar	365,256363 westerse standaarddagen
Gemiddeld zonnejaar	365,242189 westerse standaarddagen
	------------- -
Verschil	0,014174 = 20 minuten en 24,633 seconden.

6.4 Duur Sirius-jaar

In de steeds weer oplaaiende discussie over de cyclus en rol van de ster Sirius of Sothis in de Egyptische chronologie, heeft M.F. Ingham (1969: 40) op verzoek van een aantal vooraanstaande Egyptologen nieuwe berekeningen gemaakt betreffende de duur van een Sothis-jaar over de periode 4226 BCE tot aan 1591 CE, in totaal ruim 5800 jaar. In de berekeningen is Ingham uitgegaan van de plaats Memphis (Egypte) als referentiepunt en een in de loop van de tijd veranderende *arcus visionis* (hellingshoek tussen zon onder de horizon en heliacale ster boven de horizon). Dit leverde de volgende resultaten op, uitgedrukt in westerse standaardtijd:

Periode	gemiddeld jaar	lengte gemiddeld Sothis-jaar in dagen	verschil met voorgaande periode in dagen
4226 BCE - 2768 BCE	3497 BCE	365,25051	0,00585 (8m: 25,4s)
2768 BCE - 1312 BCE	2040 BCE	365,25085	0,00551 (7m: 56,1s)
1312 BCE - 141 CE	586 BCE	365,25126	0,00510 (7m: 20,6s)
141 CE - 1591 CE	866 CE	365,25181	0,00455 (6m: 33,1s)

Duidelijk is dat de duur van een Sothis-jaar variabel is en bovendien per genoemde periode in lengte afneemt. De duur van een Sirius-jaar (Sothis-jaar) wijkt echter af van de duur van een algemeen sterrenjaar. Dit verschil is over de laatste genoemde Sirius periode (gemiddeld 866 CE):

Gemiddeld algemeen sterrenjaar	365,256363 westerse standaarddagen
Gemiddeld Sirius-jaar 866 CE	365,25181 westerse standaarddagen
	------------- -
Verschil	0,004553 = 6 minuten en 33 seconden.

Dus volgens de bovengenoemde berekeningen van Ingham (1969: 40) nam de duur van een gemiddeld Sothis-jaar in iedere berekende periode af met 8 tot 6 minuten.

6.5 Verschil zonnejaar en Sirius-jaar

Wanneer we nu de duur van het gemiddelde zonnejaar volgens epoche 0.0 van 365,242310 westerse standaarddagen (Meeus 1992: 42) vergelijken met het gemiddelde Sothis-jaar uit een vergelijkbare periode van het gemiddelde jaar 586 CE (Ingham 1969: 40) dan is het verschil:

Gemiddeld Sirius-jaar epoche 586 CE	365,25126 westerse standaarddagen
Gemiddeld zonnejaar epoche 0.0	365,24310 westerse standaarddagen
	------------ -
	0,00854 = 11 minuten en 45 seconden.

Dit is binnen de momenteel beschikbare betrouwbare gegevens het best haalbare resultaat.

Met dit berekende verschil van 0,00854 standaarddag per zonnejaar zal Sirius ten opzichte van de zomerzonnewende 1 ÷ 0,00854 = 117,096 zonnejaren nodig hebben om 1 dag in westerse standaardtijd te verschuiven. Dit komt goed overeen met de eerder genoemde 120 jaren die zijn vermeld door Parker (1950: 32) en Tije de Jong (2006: 438).

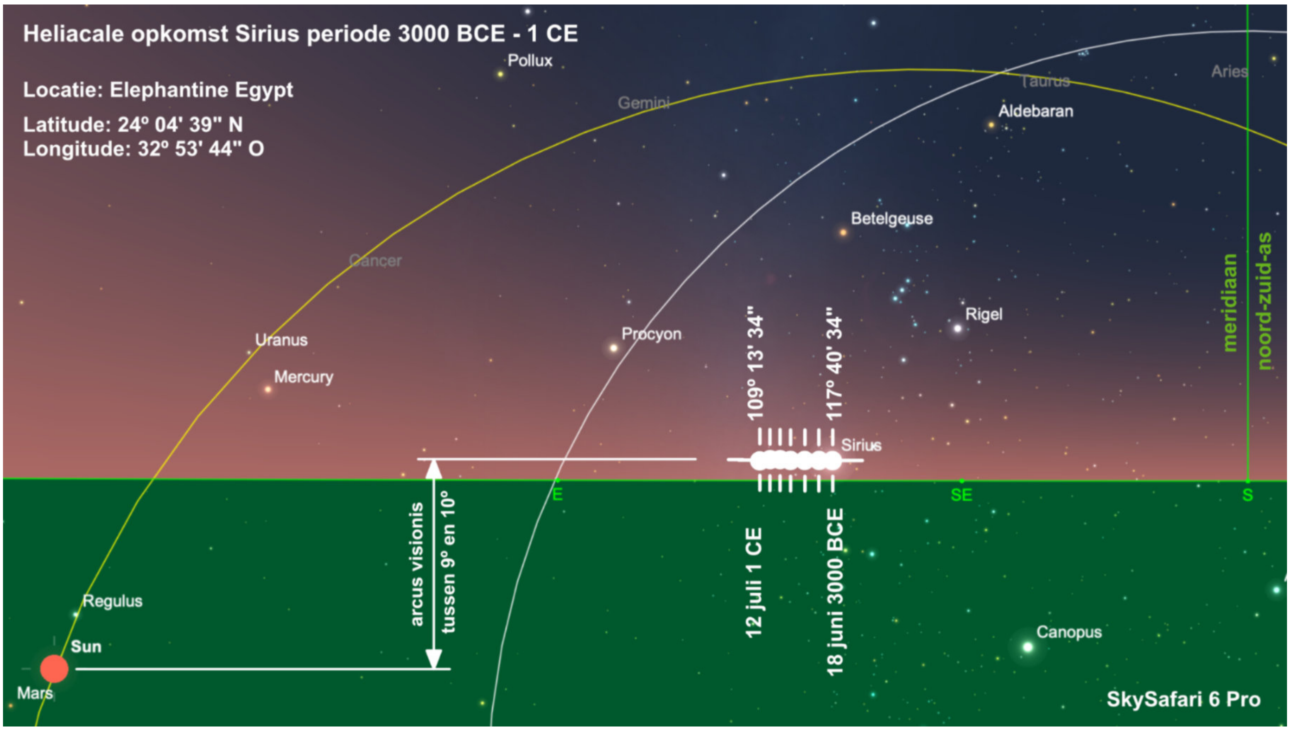
Maar tegelijkertijd betekent het dat de stelling van de verschuiving van de ster Sirius (Sothis) met 1 dag om de 4 jaar onjuist is. En de oorzaak hiervan is te wijten aan de onjuiste bewering dat een zonnejaar 365,25 dagen heeft en een Egyptisch kalenderjaar 365 dagen. Wanneer het verschil tussen het Sirius-jaar en het Egyptische kalenderjaar wordt gemeten met deze onjuiste gegevens, resulteert dit uiteraard ten onrechte in 0,25 dagen per jaar en 1 dag per 4 jaar. Deze bewering van de 365,25 dagen is ontstaan in de periode na de invasie en verovering van Egypte door Alexander de Grote en de Griekse overheersing, vastgelegd in het decreet van Canopus. Maar de realiteit blijkt anders te zijn. Helaas werd dit wel de basis van de Juliaanse kalender.

Wat de oude Egyptenaren in de periode tussen 3000 BCE en 1 BCE met betrekking tot Sirius zagen gebeuren kan worden gevisualiseerd met behulp van een astronomisch computerprogramma zoals SkySafari 6 Pro. En zolang niemand bewijst dat dit programma niet correct werkt kan dit prima worden gebruikt als instrument voor deze visualisatie.

Voor deze visualisatie is uitgegaan van het eiland Elephantine (*Abu* of *Yebu*) in de Nijl waar de eerste Tempel van Satet werd gebouwd rond 3000 BCE die gedurende de volgende 3000 jaren werd uitgebouwd en aangepast. De latitude van Elephantine is 24°04'39" N en de longitude 32°53'44" O.

Als startpunt van de visualisatie is de heliacale opkomst van Sirius gehanteerd van 18 juni 3000 BCE (Gregoriaans). Voor de heliacale opkomst van Sirius is een *arcus visionis* (zie onder 6.8) toegepast van +2° tot +2,5° voor Sirius en -7° tot -7,5° voor de zon (Teije de Jong 2006; Pachner 1998:129) met een totaal van tussen de 9° en 10°.

Vervolgens is met onderbrekingen van 500 jaren de verschuiving van de heliacale opkomst van Sirius ten opzichte van de noord-zuid-as (meridiaan) in oostelijk richting in beeld gebracht zoals die, kijkend in zuidelijke richting, kon worden waargenomen (zie afbeelding 6.0)



Afbeelding 6.0 - De verschuiving van de heliacale opkomst van Sirius over de periode 3000 BCE tot en met 1 CE bij een *arcus visionis* van tussen de 9° en 10°.

In onderstaande tabel zijn de in deze periode gemeten waarden opgenomen. Hieruit blijkt duidelijk dat Sirius iedere 500 Gregoriaanse jaren gemiddeld 4 dagen Westerse standaardtijd in oostelijke richting opschuift. Dus een verschuiving van ongeveer 1 dag in de 125 jaren en beslist niet 1 dag in de 4 jaren zoals hardnekkig wordt beweerd en waarop in de Juliaanse kalender de duur van een zonnejaar van 365,25 dagen is gebaseerd.

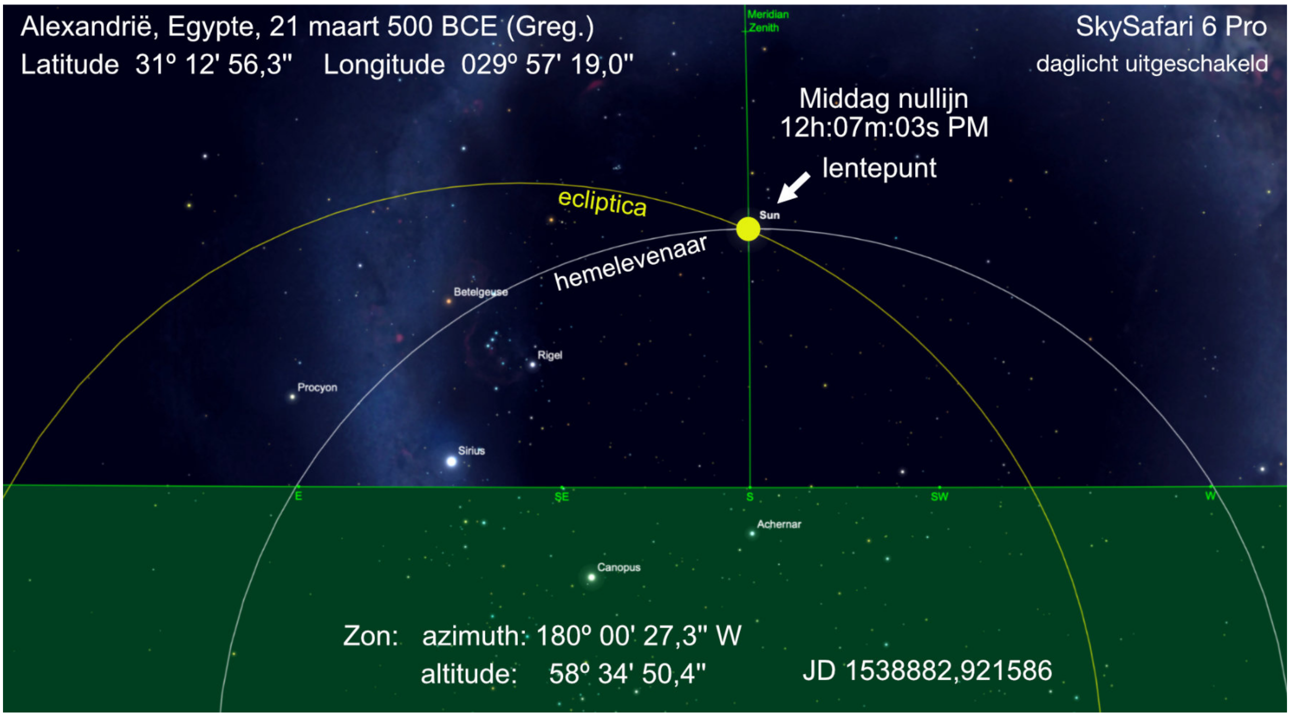
DATUM GREGORIAANS	AANTAL DAGEN LATER (GREG.)	AZIMUTH (ZUID-)OOST	VERSCHIL IN GRADEN
3000 BCE 18 juni		117° 40' 34"	
2500 BCE 22 juni	4	115° 39' 39"	02° 00' 55"
2000 BCE 25 juni	3	113° 49' 30"	01° 50' 09"
1500 BCE 29 juni	4	112° 17' 09"	01° 32' 21"
1000 BCE 04 juli	5	111° 02' 49"	01° 14' 50"
500 BCE 08 juli	4	109° 55' 24"	01° 07' 25"
1 CE 12 juli	4	109° 13' 34"	00° 41' 50"

6.6 Lentepunt als meetpunt sterrenjaar

In het verleden, tot aan het begin van de 19e eeuw, werd de duur van een zonnejaar gemeten op basis van vergelijkingen van metingen van de lente-equinox (Meeus and Savoie 1992: 42). Maar de lente-equinox duurt in feite de hele dag, en biedt dus ruimte voor verschillen in de tijd van het meten. Sinds 1959 is hierin eenduidigheid gekomen door het meten van de duur van een zonnejaar over de volle omloop van de zon gemeten over 360°. Dit meetmoment wordt op het noordelijk halfrond het 'lentepunt' en op het zuidelijk halfrond het 'herfstpunt' genoemd (Otto Neugebauer 1950: 1).

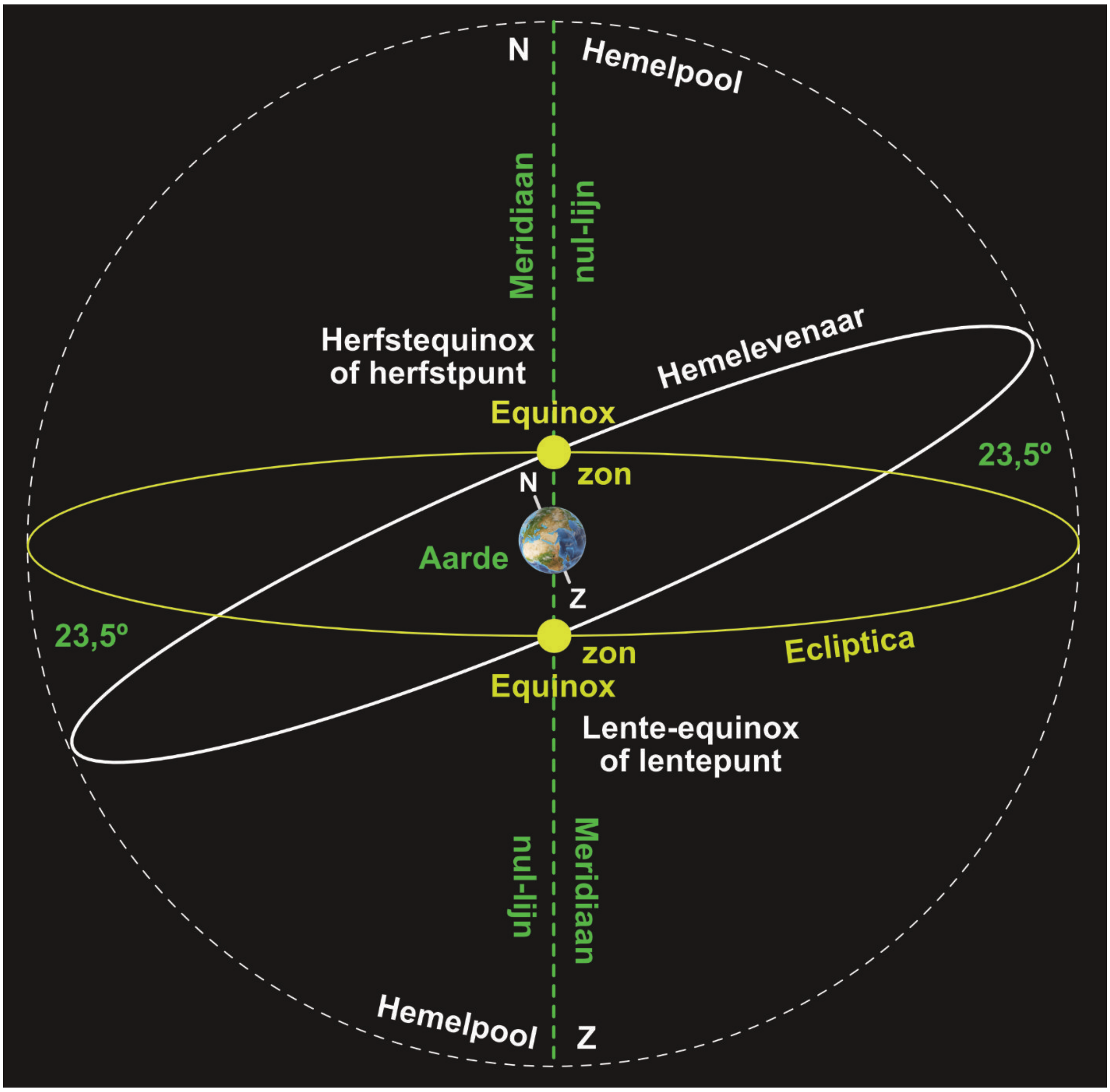
Lentepunt en herfstpunt zijn twee onzichtbare, hypothetische punten voor het noordelijk (lentepunt) en zuidelijk (herfstpunt) halfrond. Het zijn de twee theoretische kruisingen van de ecliptica (zon en zodiak), hemelevenaar en nul-meridiaan of nullijn (afbeelding 5.1; Parker 1950: 2; North 2008: 51-52,73; P. Neugebauer 1929: 4). Voor het noordelijk halfrond wordt het lentepunt gebruikt om het verschil te meten tussen een bepaalde ster of sterrengroep en de zon (Parker 1950: 2; North 2008: 51-52,73). Omdat uiteraard 's nachts geen zon zichtbaar is werd in de oudheid de lente-equinox als referentiepunt van de zon gebruikt, de dag waarop de zon precies in het oosten opkomt en in het westen ondergaat. Het aantal uren daglicht is dan gelijk aan het aantal uren duisternis (zie afbeeldingen 4.3 en 4.4). De vraag is alleen op welk tijdstip van de dag men de metingen uitvoerde.

In afbeelding 6.1 is een voorbeeld gegeven van het lentepunt op 21 maart 500 BCE (Greg.) in Alexandrië, Egypte. In tegenstelling tot de lente-equinox zelf, die in feite de hele dag duurt, is het lentepunt slechts een enkel moment tijdens de dag van de equinox. Het precieze moment van de 360° omloop van de aarde rond de zon. En dus per definitie veel nauwkeuriger dan de verschillende meetmomenten uit het verleden tijdens de dag van de lente-equinox.



Afbeelding 6.1 - Lentepunt tijdens lente-equinox bij passage nullijn ± 180° W.

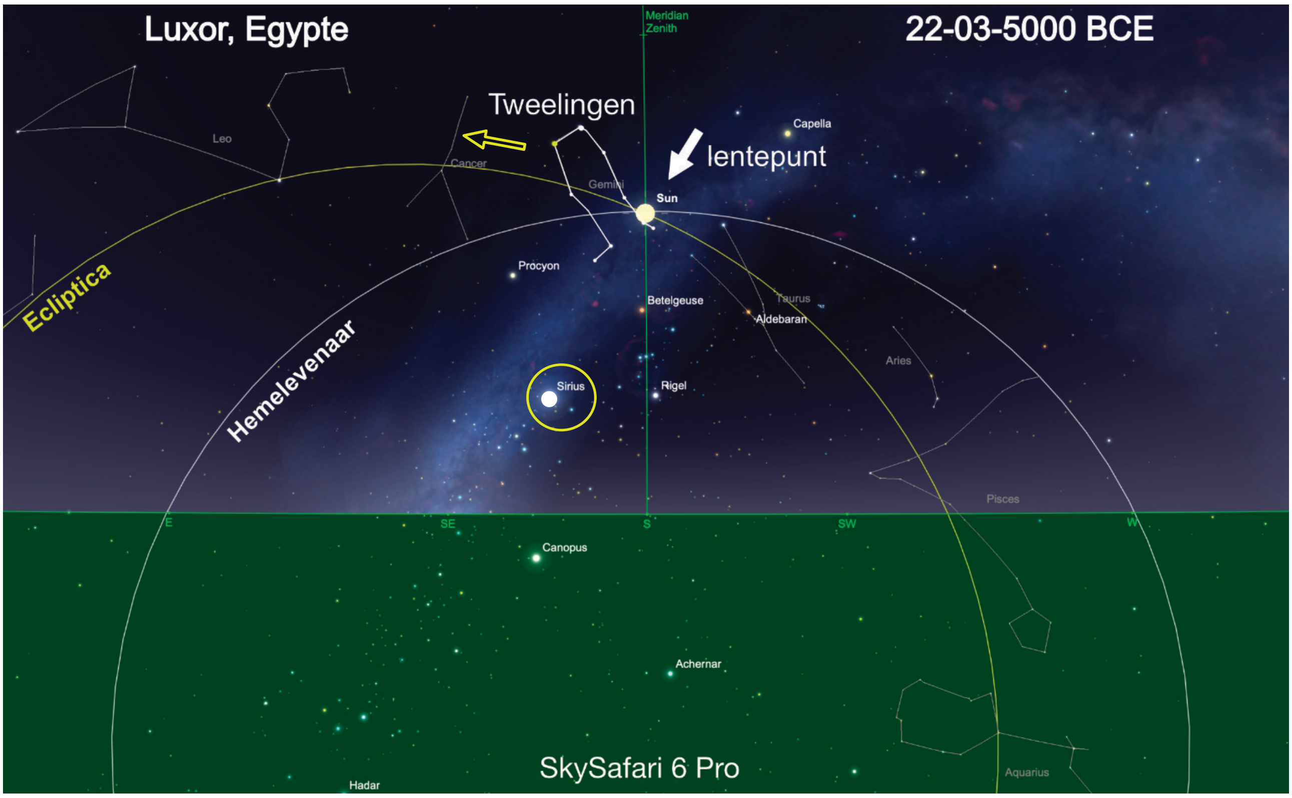
Op de dag van de equinox bereikt de zon rond het middaguur op de meridiaan z'n hoogste punt wat ligt op de kruising tussen ecliptica en hemelevenaar, het lentepunt. De rechte klimming (*right ascension RA*), is dan tussen 23u:59m:59,9s en 00u:00m:00s. Lente-equinox en lentepunt zijn dan ook onlosmakelijk met elkaar verbonden (afbeelding 6.2). In de moderne astronomie wordt het hypothetische lentepunt gebruikt om de verschillen in afstand tussen tussen zon en sterren te meten.



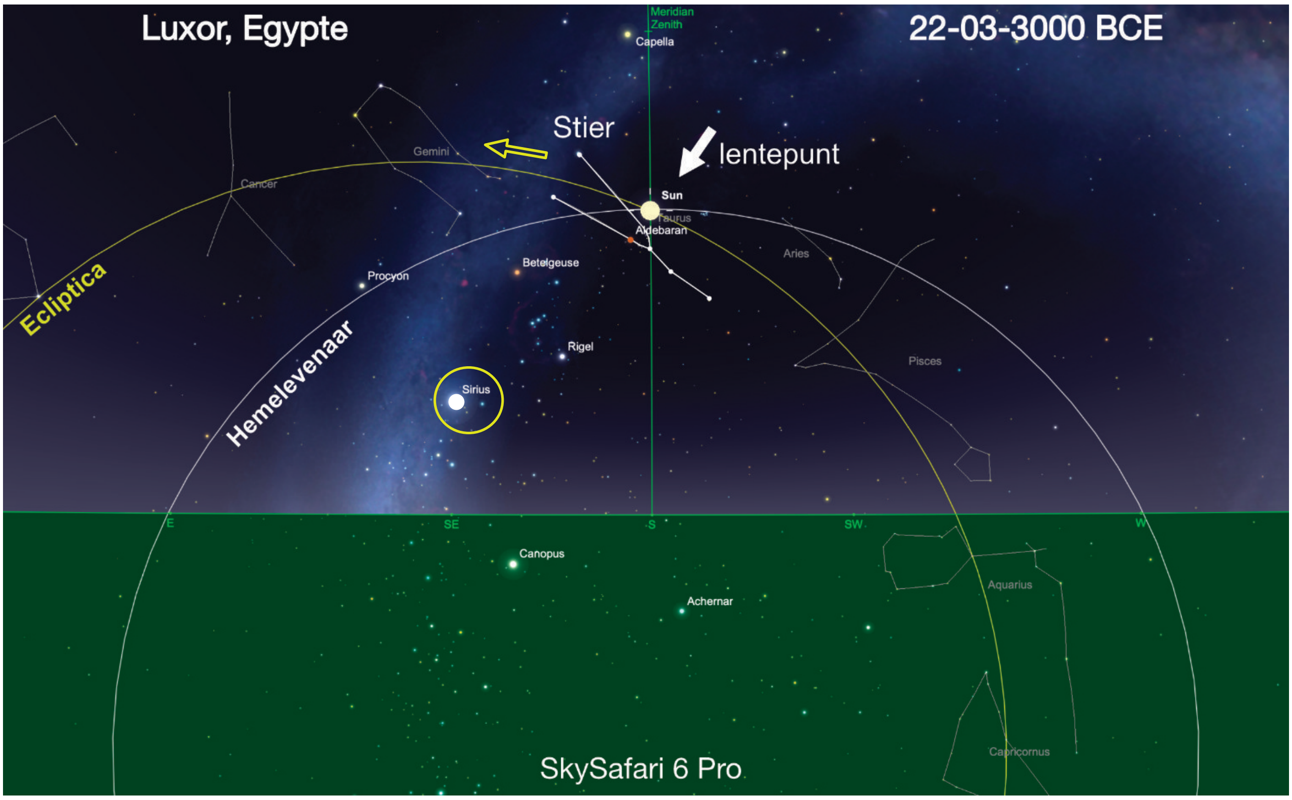
Afbeelding 6.2 - Principe van de kruisingen tussen ecliptica, hemelevenaar en meridiaan die lentepunt en herfstpunt worden genoemd.

Wat als gevolg van precessie wel verandert ten opzichte van dit lentepunt is de afstand tot de vaste sterren die zich bij een kijkrichting gericht op het zuiden, in oostelijke richting lijken te verwijderen van dit hypothetische onzichtbare punt. Als visualisatie van dit proces is in de afbeeldingen 6.3 tot en met 6.7 met behulp van SkySafari 6 Pro een vijftal metingen over de periode 5000 BCE - 3000 CE uitgevoerd. Duidelijk is te zien hoe het lentepunt voor ons op aarde keurig blijft staan, maar de sterrenbeelden en sterren lijken zich ogenschijnlijk in oostelijke richting te verwijderen van het lentepunt. De sterrenbeelden volgen daarbij de baan van de ecliptica.

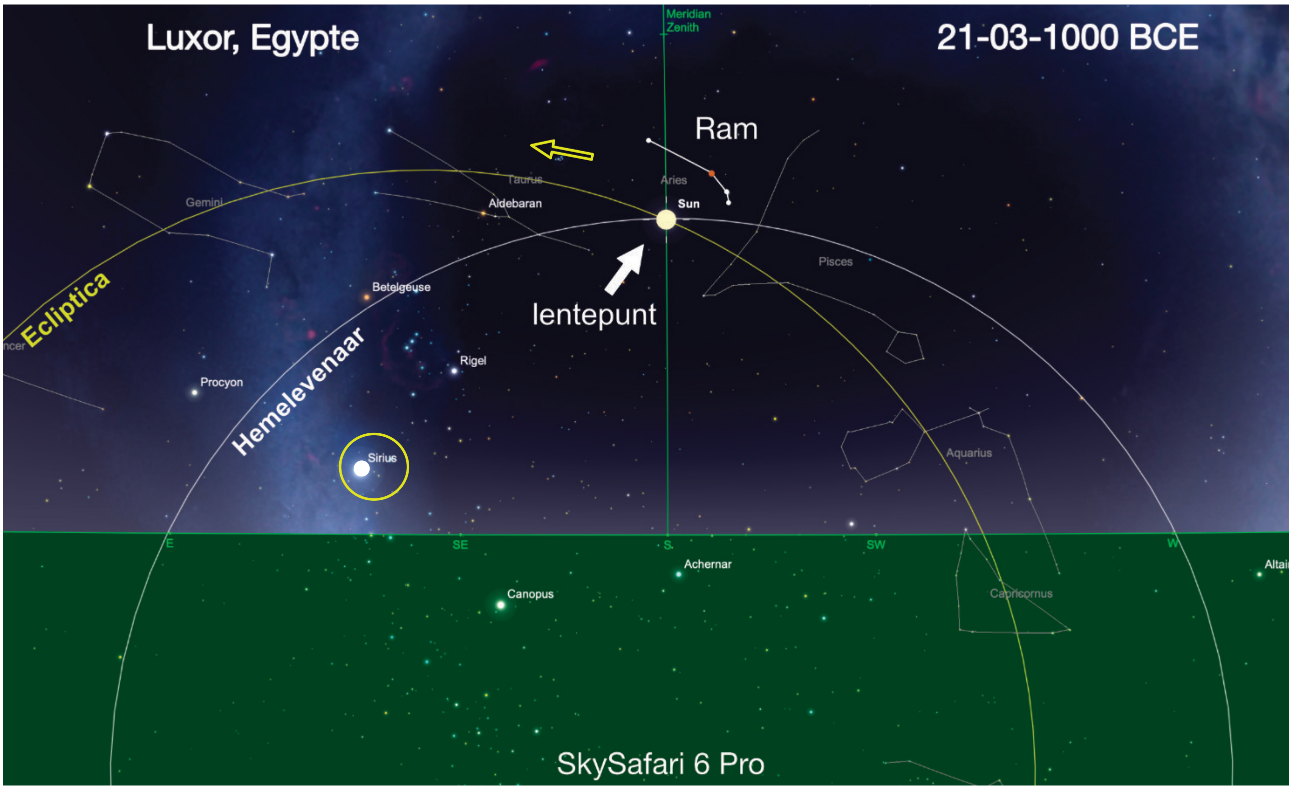
Met een astronomisch programma is ook eenvoudig aan te tonen dat dit lentepunt ieder jaar weer op ongeveer dezelfde dag op hetzelfde punt verschijnt (zie de afbeeldingen 6.3 - 6.7). En net zoals de equinoxen blijven ook het lente- en herfstpunt, vanwege hun onlosmakelijke verbondenheid met de equinoxen, dus netjes op hun plaats staan en verschuiven voor ons aardse stervelingen beslist niet als gevolg van precessie wat nogal eens wordt beweerd. Want als het lentepunt en daarmee ook de equinox zou verschuiven zouden ook de andere seizoenpunten verschuiven en zou het er slecht uitzien voor onze wereld omdat dat zou betekenen dat de baan van de aarde rond de zon veranderd zou zijn.



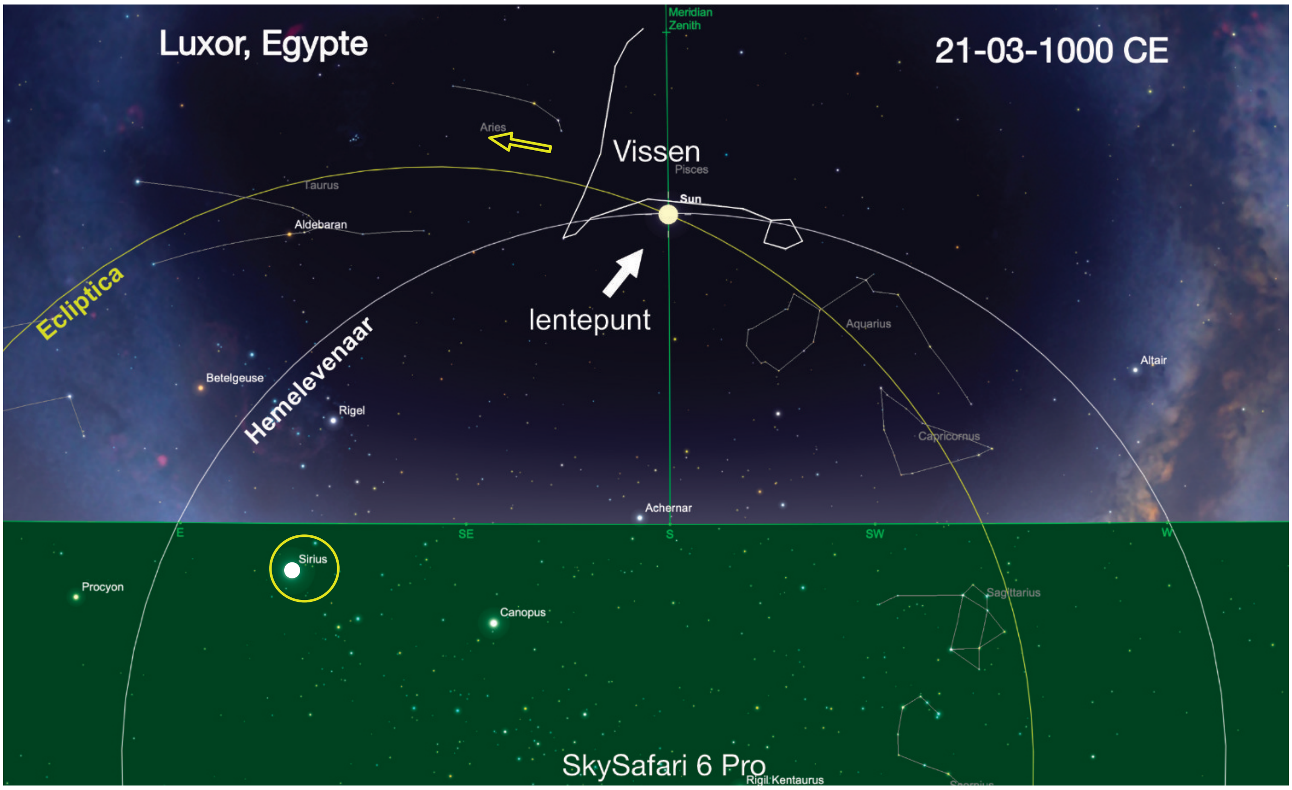
Afbeelding 6.3 - Lentepunt in 5000 BCE op het snijpunt van ecliptica, hemelevenaar en meridiaan in sterrenbeeld Tweelingen (Sirius in gele cirkel). De gele pijl geeft de richting van het verschuiven aan.



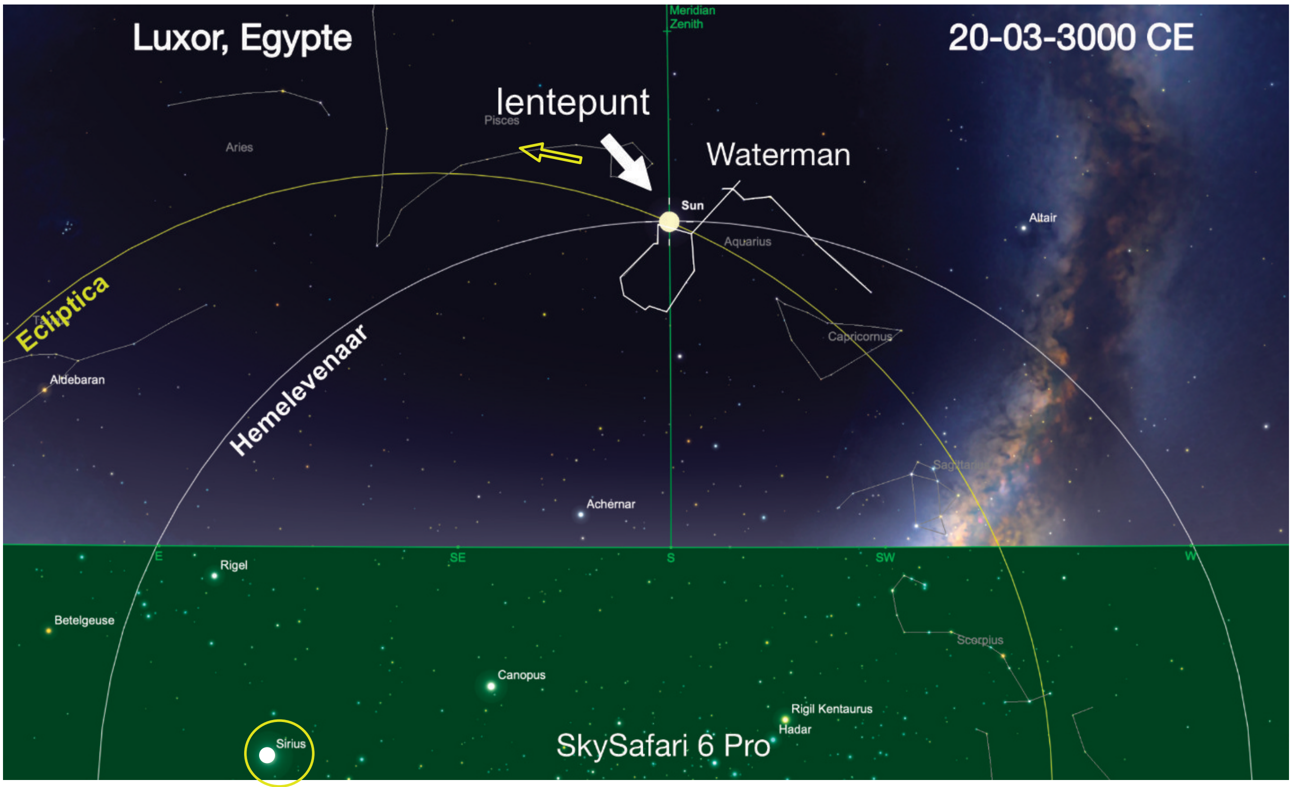
Afbeelding 6.4 - Lentepunt in 3000 BCE op het snijpunt van ecliptica, hemelevenaar en meridiaan, als gevolg van precessie nu in sterrenbeeld Stier (Sirius in gele cirkel). De gele pijl geeft de richting van het verschuiven aan.



Afbeelding 6.5 - Lentepunt in 1000 BCE op het snijpunt van ecliptica, hemelevenaar en meridiaan, als gevolg van precessie nu in sterrenbeeld Ram (Sirius in gele cirkel). De gele pijl geeft de richting van het verschuiven aan.



Afbeelding 6.6 - Lentepunt in 1000 CE op het snijpunt van ecliptica, hemelevenaar en meridiaan, als gevolg van precessie nu in sterrenbeeld Vissen (Sirius in gele cirkel). De gele pijl geeft de richting van het verschuiven aan.



Afbeelding 6.7 - Lentepunt in 3000 CE op het snijpunt van ecliptica, hemelevenaar en meridiaan, als gevolg van precessie in de nabije toekomst in sterrenbeeld Waterman (linksonder Sirius in gele cirkel). De gele pijl geeft weer de richting van het verschuiven aan.

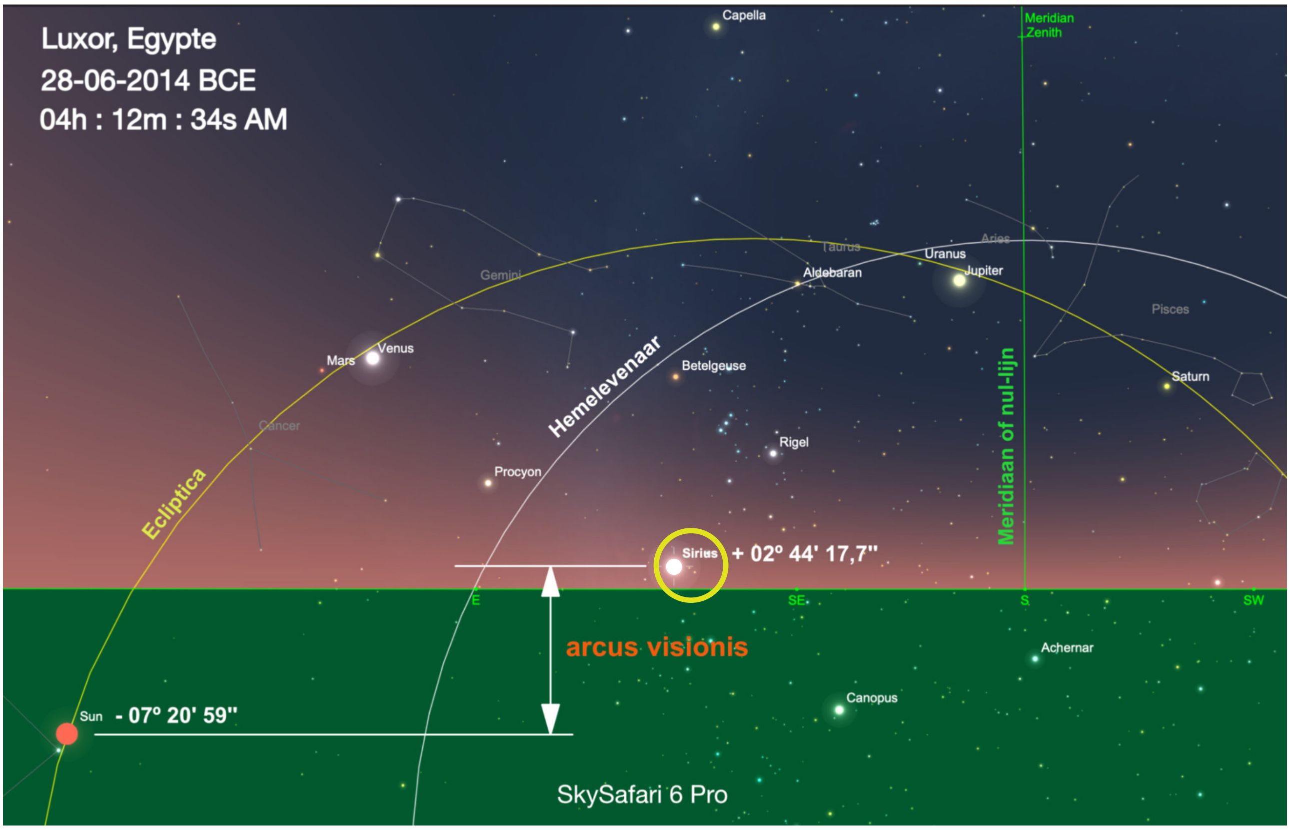
Uit deze vijf momentopnames (afbeeldingen 6.3-6.7) voor de periode van 5000 BCE tot en met 3000 CE, met onderbrekingen van 2000 jaren van ieder 365 zonnedagen, blijkt duidelijk dat de lente-equinox en het lentepunt tussen 20 en 22 maart (Gregoriaanse datums) voor ons als aardbewoners keurig op hun plaats blijven staan. Het zijn echter de sterren en sterrengroepen (sterrenbeelden) die zich ogenschijnlijk vanaf de zon in het lentepunt gezien, naar links in oostelijke richting bewegen. Momenteel, anno 2020 CE, staat het sterrenbeeld Vissen in het lentepunt (afbeelding 6.6). Let ook eens op de heldere ster Sirius, binnen de gele cirkel, en de wijze waarop deze zich naar links en omlaag (tot onder de horizon) beweegt gedurende deze 8000 jaren.

6.7 Heliacale opkomst sterren

Vaak werden sterren gebruikt als meetpunt voor een festiviteit, heilige gebeurtenis of begin van een bepaalde periode. Daarvoor werd meestal de heliacale opkomst van een ster gebruikt. Dit is het kort voor zonsopkomst verschijnen van een bepaalde ster vlak boven de nog donkere horizon. Sirius is daar een prachtig voorbeeld van (afbeelding 6.10).

6.8 Eerste zichtbaarheid heliacale sterren

Om de heliacale opkomst van een bepaalde ster kort voor zonsopkomst te kunnen waarnemen moeten de omstandigheden gunstig zijn en aan een aantal voorwaarden voldoen. Naast een heldere hemel, zicht op de horizon en een paar goede ogen moet ook de verhouding tussen de verticale afstand van de zon onder de horizon en het moment van de eerste verschijning van de ster boven de horizon juist zijn. Deze afstand wordt de *arcus visionis* genoemd. Voor Egypte ligt deze afstand, afhankelijk van vochtigheidsgraad, atmosferische omstandigheden en gevoeligheid van het oog, tussen de 8,0° en 9,3° in de buurt van het drogere Memphis en rond de 10,7° in de buurt van het vochtiger Alexandrië (Teije de Jong 2006). Pachner (1998:129) geeft voor Egypte als *arcus visionis* een waarde tussen 8,7° en 10,5°.



Afbeelding 6.8 - Het principe van de *arcus visionis* uitgewerkt voor de heliacale opkomst van de ster Sirius (in de gele cirkel) tijdens de zomerzonnewende in Luxor, Egypte in 2014 BCE. De totale *arcus visionis* is hier 10º 05'16.7".

Figuur 6.8 toont een heliacale stijging van de ster Sirius in het jaar 2014 BCE in Luxor, Egypte, met behulp van het astronomische computerprogramma SkySafari 6 Pro. Er zijn natuurlijk verschillende andere factoren die een rol kunnen spelen bij het moment van daadwerkelijke zichtbaarheid van een ster die kort voor zonsopgang opduikt, zoals stof na zandstormen.

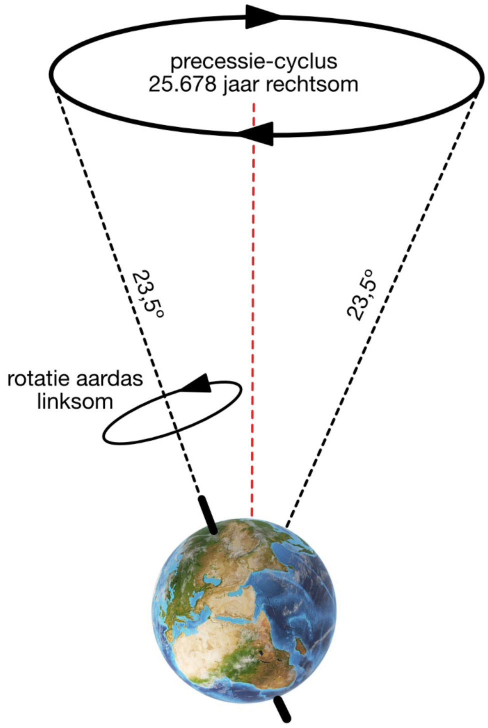
Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat de nog steeds heersende opvatting dat, omdat elk jaar een kwart van een dag uit de pas loopt met het zonnejaar, dus om de 4 jaar een dag moet worden ingelast, een hardnekkige fabel is. Hoewel het heel gemakkelijk is om met behulp van een astronomisch computerprogramma te bewijzen dat deze aanname niet klopt, wat precies hierboven is aangetoond. Sirius is dus gedurende een zeer lange periode een zeer betrouwbare boodschapper geweest van de komst van het nieuwe jaar aan de Egyptenaren.

De oude Egyptenaren en Babyloniërs gebruikten het komen en gaan van heliacale sterren aan de oostelijke horizon om bepaalde momenten in de tijd vast te leggen. Hiervoor werd een selectie van 36 goed herkenbare sterren gebruikt. Voor iedere maand van 30 dagen en om de 10 dagen steeds een andere ster of sterrengroep. Dus 3 verschillende sterren voor iedere 30 dagen die tevens aan 1 van de 12 zodiaktekens werden gekoppeld. Iedere 10 dagen een bepaalde ster die door de oude Grieken *decanen* werden genoemd. Het woord *decaan* stamt van het Griekse woord *dekanon*, dat 'aanvoerder van tien' betekent. Dit werd later de sterrenklok, diagonale kalender of astrolab genoemd (Neugebauer 1969: 83; Kolev 2013: 5-11).

In de tijd dat de vermeende duur van het zonnejaar van 365,25 dagen het daglicht zag, kende men geen onderscheid tussen het zonnejaar en het sterrenjaar. In de oude literatuur zijn verschillende voorbeelden te vinden die aantonen dat het zonnejaar werd gemeten met behulp van bepaalde vaste sterren in relatie tot het perihelium of aphelium van de aarde omdat men er kennelijk vanuit ging dat deze sterren een vaste plaats in de sterrenhemel hadden (Chabás and Goldstein 2003: 140). Wat hier dus feitelijk gebeurde was het meten van het anomalistisch jaar (zie 4.10) in de veronderstelling dat dit het zonnejaar was. En zo kwam het zonnejaar met 365,25 dagen tot leven.

7 Precessie

Omdat de aardas schuin staat maakt de aarde een tolbeweging. Een volledige omloop van deze tolbeweging is ongeveer 25.678 jaren (afbeelding 7.1) en wordt precessie genoemd. Als gevolg van deze schuine stand van de aardas lijkt het voor ons op aarde of de sterrenhemel in de loop van de tijd verandert ten opzichte van een bepaald punt op aarde. In de astronomie wordt voor dit punt het lentepunt gebruikt tijdens de lente-equinox. Vreemd genoeg wordt door vele auteurs vervolgens vermeld dat dit lentepunt in de loop der tijd verschuift ten opzichte van de sterrenhemel. Dit wekt de suggestie dat het het lentepunt is dat gezien vanaf de aarde verschuift terwijl het optisch gezien juist de sterrenhemel is die verschuift. En waarom dan alleen het lentepunt noemen tijdens de lente-equinox en niet spreken over alle seizoenpunten die dan samen met het lentepunt op dezelfde manier zouden moeten verschuiven.



Afbeelding 7.1 - Principe van precessie veroorzaakt door de tolbeweging van de aardas. De bovenste cirkel is de precessie-cyclus van ± 25.678 jaar.

7.1 Oorzaak precessie

De combinatie van de om haar as draaiende aarde en de onder ± 23,5° schuin staande aardas (afbeelding 7.1) veroorzaakt een soort tolbeweging. En wie in zijn of haar jeugdjaren wel eens met een tol heeft gespeeld kent ongetwijfeld de schuin hangende tol zodra de snelheid van de tol afneemt.

Dezelfde wiebelende tolbeweging maakt onze aardas namelijk ook (afbeelding 7.1). Wij merken daar in het dagelijkse leven helemaal niets van. Maar wanneer vanaf een vast punt op aarde ieder jaar op een vaste dag naar een bepaalde ster wordt gekeken dan zal na langdurige observatie blijken dat deze ster niet op dezelfde plaats aan de sterrenhemel is blijven staan maar ogenschijnlijk in de loop der tijd verschoven is ten opzichte van een vast observatiepunt op een vaste dag op aarde (zie afbeeldingen 6.3-6.7). Deze verschuiving wordt precessie genoemd en uitgedrukt in de vorm van de duur van een sterrenjaar.

Precessie is dus een direct gevolg van de tollende beweging van de aardas ten opzichte van de sterrenhemel. Het heeft dan ook helemaal niets te maken met de relatie tussen zon en aarde waaruit de vaste, door de mens bedachte, equinoxen en zonnewendes voortkomen. In feite wordt de tolbeweging van de aardas gespiegeld op de hemelbol waardoor het visueel lijkt of de sterren ten opzichte van de aardas verschuiven. Dus de aan de zon en aarde gerelateerde equinoxen en zonnewendes blijven ten opzichte van de waarnemer keurig op hun aardse plaats.

Het verschuiven van de equinoxen zoals dit regelmatig in de literatuur wordt vermeld leidt dan ook snel tot een onjuiste interpretatie. We moeten er niet aan denken dat de equinoxen werkelijk zouden verschuiven want dan zouden we geen vaste seizoenen meer kennen en zou de lente inmiddels in de wintermaanden beginnen. Bovendien getuigen de vele op de equinoxen en zonnewendes uitgelijnde monumenten, tempels en gebouwen van het tegendeel, want de uitlijning hiervan op dezelfde equinoxen en zonnewendes bestaat na duizenden jaren nog steeds. Het enige dat ogenschijnlijk in een elliptische baan verschuift is de sterrenhemel ten opzichte van een vast punt op aarde in de vorm van het lentepunt tijdens de lente-equinox (zie afbeeldingen 6.5-6.9). In werkelijkheid gaat het natuurlijk om de precessie van de aardas ten opzichte van de sterrenhemel.

En het zal ongeveer 25.678 jaar duren voor een bepaalde ster, sterrenstelsel of sterrenbeeld in de nachtelijke uren van de dag van de lente-equinox weer op precies dezelfde plaats aan de hemel zal staan. De mate van verschuiving van de aardas ten opzichte van de sterrenhemel wordt overigens wel gemeten met behulp van het lentepunt tijdens de lente-equinox.

7.2 Precessie-cyclus

Over het algemeen wordt in de literatuur de duur van de precessie-cyclus van 360º beschreven als ongeveer 26.000 jaar (Neugebauer 1950: 1; Aveni 1980: 102; Krupp 1994: 10). Maar inmiddels is uit nieuwe berekeningen door J. Laskar et al. (1993) gebleken dat de gemiddelde duur van de precessie-cyclus 25.678 jaren in westerse standaardtijd is. In deze periode passeert de volledige zodiak met de 12 sterrenbeelden (dierenriem) de aardas en daarmee ook het aardse punt van de lente-equinox (zie ook de afbeeldingen 6.3-7.7).



Afbeelding 7.2 - Sterrenhemel gezien vanaf een vast punt met de Poolster in het midden als centrale ster. Dit ogenschijnlijk ronddraaien van de sterren is optisch bedrog want het is de aarde zelf die ronddraait.

De nieuwe berekeningen van J. Lasker et al. (1993) hebben de lengte van de precessie-cyclus voor een aantal jaren en perioden bepaald: in jaar 1 CE op 25.946 jaren, in jaar 1000 CE op 25.846 jaren, in jaar 2000 CE op 26.150 jaren en in jaar 2017 CE op 25.678 jaren. De afgelopen 2000 jaar is dit gemiddeld 25.859 jaren.

Wanneer we de gemiddelde precessie-cyclus over 360° nemen van 25.678 jaren dan is de precessie voor 1° dus 25.678 ÷ 360 = 71,33 jaren. In 1 precessie-cyclus draait dus de ons bekende zodiak of dierenriem van 12 sterrenbeelden een keer volledig rond. Een gevolg hiervan is dat het sterrenbeeld met de poolster om de 360° ÷ 12 = 30° verandert. In westerse standaardtijd berekend zal dankzij de precessie dus om de 25.678 ÷ 360 = 71,33 x 30° = 2139,83 jaren een ander sterrenbeeld in het lentepunt verschijnen (zie als voorbeelden de afbeeldingen 6.3-6.7). In 1980 CE was dat het sterrenbeeld Vissen (afbeelding 6.6), maar in 2700 CE zal dat het sterrenbeeld Waterman zijn (Aveni 1980: 103; afbeelding 6.7). Opmerkelijk is dat hierbij weer wel over de aardas wordt gesproken.

7.3 Verandering duur precessie-cyclus

De rotatiesnelheid van de aarde neemt langzaam af waardoor de duur van het zonnejaar momenteel met 0,53 seconde per eeuw afneemt (Meeus 1992: 42). Bij een vergelijking tussen de duur van een zonnejaar en een sterrenjaar moet daarom altijd de referentie of epoche van het gebruikte zonnejaar en sterrenjaar worden vermeld om te voorkomen dat met afwijkende gegevens wordt gerekend.

8 Structuur westerse kalender

Om de opbouw en werking van onze huidige westerse kalender te kunnen begrijpen moeten we terug naar de oorsprong van deze kalender: Gaius Julius Ceasar, politicus, generaal, schrijver, in 48 BCE door de Romeinse senaat aangewezen als dictator, maar ook geestelijk vader van ons huidige systeem van tijdrekening.

8.1 Geestelijk vader kalender jaar



In de tijd van Julius Ceasar was de Romeinse maankalender door allerlei oorzaken een rommeltje geworden en liep 67 dagen achter op de zomerzonnewende. Ceasar was zich daar heel goed van bewust. Tijdens zijn veldcampagne om Pompeius, in de ogen van Ceasar een verrader en zijn aartsvijand, in handen te krijgen moest Ceasar zelfs naar Alexandrië in Egypte waar Pompeius zijn toevlucht had gezocht.

De toenmalige heerser van Egypte, de 12-jarige Ptolemaeus XIII, dacht in de gunst van Ceasar te kunnen komen door Pompeius te laten doden. Dit werd echter door Ceasar als een verachtelijke daad beschouwd en hij nam daarom Alexandrië in waar hij een affaire kreeg met Cleopatra, de zus en echtgenote van de 12-jarige Ptolemaeus XIII. En het was hier en op dat moment in de geschiedenis dat de eerste ideeën voor de geboorte van onze huidige kalender en tijdrekening tot ontwikkeling kwamen.

Alexandrië, in ongeveer 330 BCE gesticht door Alexander de Grote, was een grote stad, met ruim 400.000 inwoners, waar vele culturen samen kwamen. Deze stad was in de tijd van Julius Ceasar het belangrijkste internationale centrum van cultuur, kennis en geleerdheid en beschikte over een grote bibliotheek met tussen de 400.000 en 900.000 boekrollen. Na de verovering van Egypte door Alexander de Grote ontstonden grote gemeenschappen van Grieken die volledig integreerden in het toenmalige Egypte. Na de dood van Alexander in 323 BCE werd Ptolemy, een lijfwacht van een van de generaals uit het leger van Alexander, de heerser van Egypte en noemde zichzelf Ptolemy I. Hiermee begon de Ptolemaeus dynastie die duurde tot de verovering door Julius Ceasar in 44 BCE.

Het was Ptolemaeus III Euergetes die in 238 BCE het decreet van Canopus uitvaardigde waarin werd bepaald dat aan het Egyptische zonnejaar van 365 dagen om de vier jaar een extra dag moest worden toegevoegd. Men was toen in de veronderstelling dat om de Egyptische nieuwjaarsdag gelijk te laten lopen met de heliacale opkomst van de heilige ster Sirius, de duur van een jaar 365 1/4 dagen moest zijn (Wallis Budge 1904, hoofdstuk 1). De oorspronkelijke kalender van de Egyptenaren kende 12 maanden van 30 dagen met aan het einde een korte periode van 5 feestdagen. Het decreet bepaalde dat deze korte periode 1 keer in de vier jaren niet 5 maar 6 dagen moest hebben. Dit wordt de Alexandrische kalender genoemd, een variant dus van de Egyptische kalender van 365 zonnedagen, maar met een schrikkeldag. Feitelijk een overgangsvorm naar de Juliaanse kalender.

Het was in het kenniscentrum Alexandrië dat Ceasar in contact kwam met deze Alexandrische kalender waarover hij zich uitvoerig liet informeren. Ceasar was zeer onder de indruk van deze kalender en noemde dit ”de enige intelligente kalender uit de geschiedenis van de mensheid”. Tijdens een feest sprak Ceasar met een wijze man genaamd Acoreus en uitte hij zijn wens om een perfecte kalender te maken. Het was vermoedelijk deze Acoreus die Julius Ceasar informeerde over de structuur en werking van deze Grieks-Egyptische kalender. Toen Ceasar in 46 BCE weer terug was in Rome raadpleegde hij direct zijn Griekse adviseur en astronoom Sosigenes (Parker 1987: 13; Bennett 2003: 230), afkomstig uit het kenniscentrum Alexandrië, met het verzoek om de bestaande Romeinse maankalender om te vormen tot een model volgens de Alexandrische kalender.

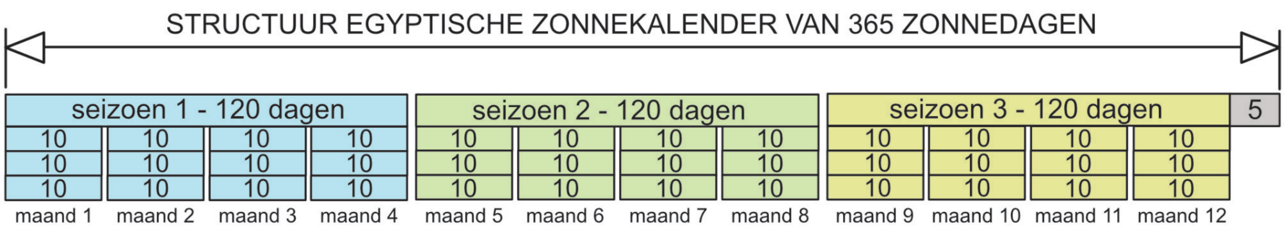
En dit leidde tot een volledig vernieuwde kalender, opgebouwd uit kennis en wensen van allerlei culturen. Deze kalender werd in 45 BCE op bevel van Julius Ceasar uitgeroepen tot de nieuwe en officiële Romeinse kalender en vervolgens de Juliaanse kalender genoemd. Ceasar heeft echter niet lang van deze naar hem vernoemde kalender kunnen genieten, want het jaar daarop, in 44 BCE, werd hij in de Romeinse Senaat door vele messteken om het leven gebracht.

8.2 Multiculturele structuur

Wat Ceasar nooit heeft geweten, ook niet kon weten, is dat het fundament en de structuur van zijn geesteskind, de vernieuwde Romeinse kalender en naar Julius Ceasar de Juliaanse kalender genoemd, met enkele tussentijdse aanpassingen tot op de dag van vandaag, dus na ruim 2000 jaar, nog steeds zou worden gebruikt. Het is zelfs de basis geworden van de internationale standaard van tijdmeting. Maar, zoals eerder vermeld, is deze Juliaanse kalender wel een mengeling van kennis en wensen ingebracht door verschillende culturen. Het is feitelijk de enige functionele multiculturele kalender die de mensheid ooit heeft voortgebracht en hieronder verder zal worden toegelicht.

8.3 Egyptisch fundament

Al sinds 2300 BCE maakten de Egyptenaren gebruik van een kalender gebaseerd op het zonnejaar van 365 zonnedagen. Als basisstructuur werden de drie agrarische seizoenen van de Nijl gebruikt waarbij ieder seizoen bestond uit 4 maanden van ieder 30 dagen. Dus in totaal 12 maanden van 30 dagen, tezamen 360 dagen. Iedere maand was weer verder onderverdeeld in 3 perioden van 10 dagen (afbeelding 8.1). Direct volgend op deze 12 maanden was nog een periode van 5 dagen gewijd aan de viering en verering van de vijf belangrijkste Egyptische goden.



Afbeelding 8.1 - Structuur Egyptische zonnekalender zoals deze duizenden jaren heeft bestaan.

8.4 Verdeling in uren

Een dag in deze kalender was verdeeld in 24 delen die van oorsprong niet van gelijke lengte waren maar afhankelijk van de seizoenen. Deze delen worden daarom ook wel ”seizoenuren” genoemd. Hiervan waren 11 delen voor het daglicht, 11 delen voor de nachtelijke uren, 1 deel voor de schemering tussen daglicht en nacht en 1 deel voor de schemering tussen nacht en daglicht. De verhouding van de delen licht en donker verschilde per seizoen (zie afbeelding 3.6).

In de theoretische werken van de hellenistische astronomie (Neugebauer 1969: 81) werden deze 24 ongelijke uren vervangen door 24 uren van constante lengte en worden daarom ook wel de ”equinox-uren” genoemd. Dit omdat tijdens een equinox dag en nacht een gelijke duur hebben en daarmee ook de 24 dagdelen, vergelijkbaar met onze westerse standaarduren (zie afbeelding 3.9). De Babyloniërs hadden hun eenheden weer verder onderverdeeld in wat wij nu minuten en seconden noemen. De benamingen uren, minuten en seconden hebben we overigens aan de Grieken te danken.

8.5 Romeinse naamgeving

De oorspronkelijke Romeinse kalender was in feite een maankalender met 12 maanden van 28, 29 of 31 dagen met een totaal van 355 dagen. Het oorspronkelijke Romeinse jaar begon met 1 Martius (maart) en eindigde op de laatste dag van Decembris (december). Deze laatste maand was variabel in duur vanwege het gewenste aansluiten op de seizoenen van het zonnejaar. De periode tussen 31 december en 1 maart, de wintermaanden, werd kennelijk niet geteld. Later werden hier twee extra maanden aan toegevoegd, Januarius met 29 dagen en Februarius met 28 dagen.

Het verlies aan dagen ten opzichte van het zonnejaar werd gecompenseerd door op bepaalde tijdstippen een dertiende maand in te voegen, de zogenoemde '*intercalaris*'. Hiervoor had men zelfs een aparte groep mensen benoemd die berekenden wanneer en hoeveel dagen moesten worden ingelast of verwijderd om de kalender in de pas te laten lopen met de seizoenen die werden gemarkeerd aan de hand van de equinoxen en zonnewendes. Omdat dit lang niet altijd correct werd toegepast telden de Romeinse jaren daarom soms wel 377 of 378 dagen met als gevolg dat de kalender in de periode van Julius Ceasar ruim 2 maanden achterliep op de seizoenen van het zonnejaar.

Hoewel de oude Romeinse kalenderstructuur volledig overboord werd gegooid en vervangen door de zonnekalender, werden de namen van de maanden en de dagen echter gehandhaafd. Dankzij de invloed van astronomen en de toenmalige christelijke kerk werd wel de volgorde van de maanden en het aantal dagen per maand veranderd. Als beste oplossing werd gekozen om het jaar te laten beginnen op 1 januari. En als eerbetoon aan Julius Ceasar werd de oude Romeinse naam van de maand Quintilis veranderd in Julius en kreeg deze maand 31 dagen. Wij kennen deze maand als juli.

8.6 De hellenistische jaarlengte

De duur van een jaar is vermoedelijk overgenomen uit vermeldingen van metingen door Griekse astronomen zoals Meton, Kallippos, Hipparchus en Geminos. Wellicht in combinatie met het decreet van Canopus dat in 238 BCE werd uitgevaardigd onder de naam van de Griekse heerser Ptolemaeus III Euergetes en koning van Egypte. Men was toen in de verkeerde veronderstelling dat, om de Egyptische nieuwjaarsdag gelijk te laten lopen met de heliacale opkomst van de heilige ster Sirius, de duur van een jaar 365 1/4 dagen moest zijn (Wallis Budge 1904, hoofdstuk 1). Ook moest volgens dit decreet ieder 4e jaar een dag worden ingevoegd. Overigens is dit decreet door de autochtone Egyptenaren zelf nooit overgenomen en uitgevoerd. Pas in 25 BCE kreeg deze kalendervorm een tweede kans toen de Romeinse keizer Augustus de door Julius Ceasar ingevoerde kalender hervormde.

8.7 Inbreng christelijke kerk

Ook de christelijke kerk wilde dat deze nieuwe kalender aan een van hun belangrijkste eisen zou moeten voldoen: het snel en correct kunnen bepalen van de viering van Pasen. Pasen valt volgens de kerk altijd op de 1e zondag na de 1e volle maan na de lente-equinox. Dus de lente-equinox, als bepalende factor en als vast beginpunt van het lente-seizoen, moest een voorname plek krijgen in de nieuwe kalender. Maar ook voor het bepalen van de data van andere christelijke feestdagen werd de Juliaanse kalender gebruikt. Vandaar dat de kerk veel belang hechtte aan de kalender.

8.8 Geboorte Juliaanse kalender

Bovengenoemde ingrediënten uit de verschillende culturen werden tot een geheel gesmeed wat uiteindelijk leidde tot de zogenoemde Juliaanse kalender. Deze kalender bestond uit 12 maanden van 28, 30 of 31 dagen, weken van 7 dagen, wat weer van grote betekenis was voor de joden, en dagen van 24 gelijke eenheden die uren werden genoemd waarbij iedere eenheid verder was verdeeld in 60 kleinere eenheden. Voor een jaar werd de al enkele eeuwen eerder door de Grieken berekende duur van 365 5/19 dagen gebruikt die voor het gemak werd afgerond op 365 1/4 ofwel 365,25 dagen. De duur van een volledige omloop van de Juliaanse kalender is 4 jaren.

Omdat werken met breuken in een kalender in de praktijk niet echt handig is werd het standaardjaar op 365 afgeronde dagen gezet. Vanwege de keuze van een zonnejaar van 365,25 dagen betekende dit wel dat de Juliaanse kalender ieder jaar 0,25 dag achterliep bij het zonnejaar. Op basis daarvan moest daarom ieder 4e jaar een schrikkeldag worden ingelast om de 4 x 0,25 dag weer in te lopen. Men was in de veronderstelling dat hiermee de perfecte kalender was geschapen. Maar helaas, het liep enigszins anders.

Door een misverstand werd in het begin in plaats van ieder 4e jaar, ieder 3e jaar een schrikkeldag ingelast. Het mag duidelijk zijn dat deze jaartelling al snel weer uit de pas ging lopen met de vier seizoenen. Na deze verkeerde interpretatie liet Gaius Octavius, de erfgenaam van Julius Ceasar en door de Romeinse senaat in 27 BCE aangesteld als keizer Augustus (de Verhevene), deze fout in 25 BCE op basis van het decreet van Canopus herstellen waarna het ieder 4e jaar invoegen van een schrikkeldag in ere werd hersteld.

Augustus maakte van de gelegenheid gebruik om zijn eigen naam aan een van de 12 maanden toe te kennen waardoor we naast juli van Julius (Ceasar) ook een maand augustus van keizer Augustus kennen, beiden met 31 dagen. Deze gecorrigeerde kalender werd uiteindelijk officieel in 8 CE ingevoerd en was rond 26 CE in heel Egypte overgenomen.

Maar echt bekend werd deze kalender als de Juliaanse kalender, het geesteskind van Julius Ceasar, die zich geleidelijk over de Romeinse en katholieke wereld verspreidde en uiteindelijk, in een aangepaste vorm, de wereld veroverde en het fundament werd waarop onze huidige kalender en tijdrekening werd gebouwd. Depuydt (1997: 13) vermeldt dat deze kalender precies de gewone Egyptische kalender is maar met een schrikkeldag.

8.9 Van Juliaans naar Gregoriaans

De eerste signalen dat de Juliaanse kalender uit de pas begon te lopen met het zonnejaar kwamen al in de 4e eeuw CE. Maar het heeft nog tot in de 16e eeuw CE geduurd voor er concrete voorstellen kwamen voor een correctie. Er wordt algemeen aangenomen dat het Aloysius Lilius was, een natuurkundige uit Napels, die een aangepaste structuur bedacht om de geconstateerde afwijkingen te corrigeren. Er wordt wel eens gesuggereerd dat de Juliaanse kalender een foutieve structuur had en daarom na 1400 jaar 10 dagen voorliep. Maar dit is een onterechte opmerking omdat men in die tijd eenvoudig geen betere oplossing had. Want de standaarddag van exact 24 uren moest nog worden uitgevonden.

Het is juist dankzij deze ervaring dat een herziene basis kon worden aangebracht gebaseerd op een periode van 400 jaren waaraan in totaal maar 97 in plaats van 100 schrikkeldagen hoefden te worden ingevoerd. Voor de duur van een gemiddeld westers jaar werd daarbij de duur van het zonnejaar van 365,242546 westerse dagen uit de Alfonsine Tables uit 1252 CE gebruikt (Meeus 1992: 41). Dit is uiteindelijk de bekende formule 460.097/400 dagen = 365,2425 dagen geworden die we nu hanteren voor de kunstmatige westerse of Gregoriaanse kalender en inmiddels ons standaardjaar is geworden. Alleen was de in de Alfonsine Tables genoemde duur die van het anomalistische jaar met een duur van 365.259636 dagen (365d:6u:13m:52s) en bijna gelijk aan het sterrenjaar (Neugebauer 1962: 264, 266). De metingen hiervoor waren gebaseerd op de relatie tussen de zon en de vaste sterren.

Deze verbeterde versie van de Juliaanse kalender werd ter goedkeuring voorgelegd aan het Concilie van Trente (1545 – 1563) en daar aangenomen. Paus Gregorius XII voerde deze aangepaste kalender per decreet in op 24 februari 1582 als de pauselijke wet "*Inter Gravissimas*". Het kon uiteraard niet anders dan dat deze herziene Juliaanse kalender de naam van de paus kreeg en in het vervolg de Gregoriaanse kalender ging heten.

Bij de invoering van deze Gregoriaanse kalender op 4 oktober 1582 werden 10 dagen overgeslagen om de lente-equinox terug te brengen naar 21 maart. Maar de weekdagen liepen zonder onderbreking door want op donderdag 4 oktober 1582 volgde vrijdag 15 oktober 1582. En deze, uit de Juliaanse kalender voortgekomen, Gregoriaanse kalender gebruiken we tot op de dag van vandaag nog steeds en is inmiddels een standaard tijdrekening geworden voor het merendeel van de huidige wereld.

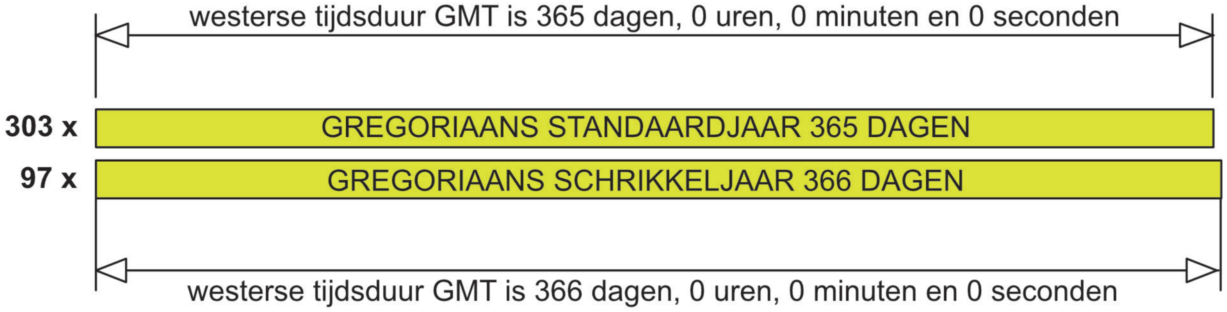
8.10 Regels schrikkeldagen Gregoriaanse kalender

Voor de verdeling van de 97 schrikkeldagen in de Gregoriaanse kalender werden een aantal regels opgesteld die bepalen wanneer precies een schrikkeldag moet worden ingevoegd. Deze regels gelden tot op de dag van vandaag nog steeds:

- een jaartal dat zonder rest deelbaar is door 4 en geen eeuwjaar is, is een schrikkeljaar (zoals de jaren 1604, 1840 en 2024);
- een eeuwjaar dat zonder rest deelbaar is door 400 is een schrikkeljaar (bijvoorbeeld de eeuwjaren 1600, 2000 en 2400), alle andere eeuwjaren zijn geen schrikkeljaren (bijvoorbeeld de eeuwjaren 1700, 1800, 1900, 2100, 2200 en 2300).

Voor het gemak wordt deze Gregoriaanse kalender verder de westerse kalender of westerse tijdrekening genoemd.

BASISSTRUCTUUR GREGORIAANSE TIJDREKENING OVER 400 JAREN



Afbeelding 8.2 - Basisstructuur met de verdeling van de jaren met 365 en 366 dagen van de Gregoriaanse tijdrekening over de periode van 400 jaar.

8.11 Invoering middelbare tijd

De uitvinding door Christiaan Huygens in de 17e eeuw van het slingeruurwerk was de doorbraak voor het nauwkeurig kunnen meten van uren, minuten en seconden. De seconde werd daarbij vastgesteld als 1/86400 deel van een zonnedag met 24 uren met 60 minuten per uur en 60 seconden per minuut.

Dankzij dit gelijkmatig lopend uurwerk kwam men er na verloop van tijd ook achter dat de zonnedag varieert gedurende het jaar. Doordat de omloopsnelheid van de aarde rond de zon niet gelijk is, varieert de zonnetijd. Dit komt doordat de omloopbaan elliptisch is, zodat de tweede wet van Kepler opgaat. Het middaguur, waarop de zon op zijn hoogste punt staat, werd voorheen gebruikt als ijkpunt voor de uurwerken. Probleem was echter dat de tijd tussen deze hoogste punten in de loop van het jaar niet helemaal constant is. De lengte van een zonnedag kan maximaal 15 tot 16 minuten afwijken van de 24 uren. Gemeten met een gelijkmatig lopende klok kan de passage op dit hoogste punt maximaal een kwartier eerder of later vallen.

Daarom werd vanaf het einde van de achttiende eeuw een gemiddelde periode ingesteld van 365 x 24 uren. Hiervoor werd de middelbare zon geïntroduceerd met de middelbare zonnetijd of middelbare tijd. Het verschil tussen de ware tijd en de middelbare tijd is de tijdvereffening. Zo hoefden de klokken niet meer voortdurend bijgesteld te worden. Het gelijkzetten is nog steeds eenvoudig, met een tabel van de tijdvereffening, die voor elke dag van het jaar de afwijking tussen middelbare tijd en ware tijd aangeeft. De tabel kon door een sterrenwacht worden gemaakt, door het hoogste punt te vergelijken met sterrendoorgangen, die wel regelmatig zijn.

De tabel is voor de hele wereld hetzelfde, en ook voor altijd, althans voor zonnekalenders. Dus beperkt voor de joodse maan-zon kalender, en helemaal niet voor de islamitische maankalender.

8.12 Overgang naar wereldstandaardtijd

Nadat in ieder land afzonderlijk een standaardtijd tot stand was gebracht, werd het noodzakelijk een wereldstandaardtijd in te voeren. Tijdens een aantal geodetische conferenties werden door verschillende landen ideeën aangedragen over de plaats van de nul-meridiaan en welke tijd de standaardtijd moest worden. In 1884 werd op de Prime Meridian Conference in Washington besloten dat Greenwich het ruimtelijke en temporele centrum van de wereld zou worden. De redenen hiervoor waren dat voor zeekaarten de nul-meridiaan over Greenwich liep en de tijd op zee al eeuwenlang die van Greenwich was geweest. De tijd horende bij de meridiaan van Greenwich is Greenwich Mean Time (GMT).

Om zo dicht mogelijk bij de lokale middelbare tijd te blijven, werden de tijdzones ingevoerd. In 1928 werd de Universal Time (UT) ingevoerd, gebaseerd op GMT. De poolbeweging bleek er voor te zorgen dat deze tijd niet overal ter wereld gelijk was. Hierop werd een gecorrigeerde tijd ingevoerd, UT1. De andere, afgeleid uit astronomische observaties, werd hernoemd tot UT0. Met de komst van nauwkeurige kwartsuurwerken bleek er een wereldwijde seizoenvariatie te zijn, onder andere veroorzaakt door lucht- en waterverplaatsingen.

De hiervoor gecorrigeerde tijd was UT2. Deze wordt tegenwoordig vrijwel niet meer gebruikt omdat de aardrotatie te onregelmatig bleek te zijn. Daardoor ging men zich richten op het tropisch jaar waaruit de efemeridetijd was vast te stellen. Hoewel deze wel uniform is, is ook deze moeilijk te bepalen.

Door de introductie van de atoomklok in 1955 kon men de internationale atoomtijd (TAI) invoeren. De seconde werd niet langer gedefinieerd als een vast gedeelte van de dag, maar op de overgang tussen de twee hyperfijne energieniveaus van de grondtoestand van een 133 cesium-atoom in rust bij een temperatuur van 0 Kelvin. TAI loopt niet gelijk met UT en daarom werd UTC ingevoerd. UTC corrigeert men regelmatig om deze binnen een seconde verschil met UT1 te houden. UTC en TAI lopen dus steeds verder uit elkaar.

Inmiddels is het technisch mogelijk de klokken wereldwijd tot op minimale fracties van een seconde gelijk te laten lopen door het Global Positioning System (GPS). Dit systeem werkt op basis van looptijdmeting en kent een nauwkeurigheid in de ordegrootte van enige tientallen nanoseconden. Voor dagelijks gebruik binnen Europa kan met een eenvoudige en goedkope DCF77 ontvanger een nauwkeurigheid van enige tientallen milliseconden worden bereikt. Voor internet en andere computernetwerken is er het Network Time Protocol waarmee klokken van computers gelijkgezet kunnen worden.

Het toppunt van precisie van tijdmeting op dit moment is echter de atoomklok genaamd Yb-2 in het laboratorium van Andrew Ludlow in Boulder, Colorado, VS. Deze atoomklok heeft een nauwkeurigheid van 1 seconde afwijking in 20 miljard jaar (Nuwer, 2020).

9 Werking westerse tijdrekening

In de vorige hoofdstukken zijn op hoofdlijnen de oorsprong, basiselementen en natuurlijke invloeden besproken die als fundament dienden voor de uiteindelijke structuur en werking van ons huidige systeem van tijdrekening. Uit de literatuur blijkt duidelijk dat lang niet iedereen bekend is met de structuur en werking van dit westerse systeem. Voldoende aanleiding dus om hierop dieper in te gaan. Bij deze bespreking zal wel steeds een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen de huidige westerse standaardtijd en de natuurlijke zonnetijd. Twee eenheden van tijd die alles met elkaar te maken hebben maar vanwege het eerder besproken verschil in de duur van een dag niet direct met elkaar kunnen worden vergeleken.

9.1 Zonnejaar als fundament

Ons huidige, westerse systeem van tijdmeting heeft maar één hoofddoel: het in de pas blijven lopen met de vier seizoenen van het natuurlijke zonnejaar. Wat wel eens wordt vergeten is dat het zonnejaar het fundament is, de maat van tijd, waarop ons westerse systeem van tijdrekening is gebouwd. Zoals bij de bespreking van de dag in hoofdstuk 3 is vermeld, zijn de dagen in de loop van de geschiedenis geleidelijk afgerond tot hele getallen zonder fracties omdat deze makkelijker hanteerbaar zijn in een kalender en bij berekeningen. De zonnedag is in de loop der tijd omgevormd tot een iets kortere, kunstmatige, gemiddelde standaarddag van 24 uren met 60 minuten per uur en 60 seconden per minuut. In feite een uitvinding van de mens om de onregelmatige zonnedag om te vormen tot de regelmatige Westerse standaarddag van precies 24 uren. We zijn nu inmiddels zover dat de standaardtijd wordt bepaald door de uiterst nauwkeurige trillingen van een atoom dat door zeer geavanceerde meetinstrumenten periodiek wordt gemeten en zo nodig gesynchroniseerd met de zonnetijd door het invoegen van een schrikkelseconde. Maar hoe ingenieus dit ook in elkaar mag zitten, het is de zon die vanwege de seizoenen voor de mens op aarde de maat van tijd blijft.

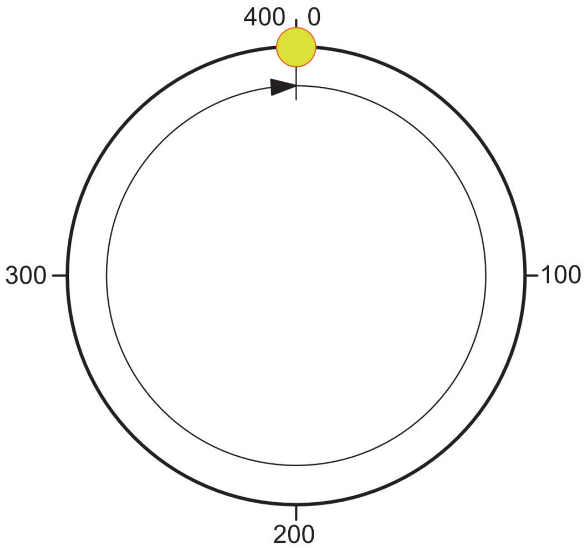
Ons huidige westerse jaar, officieel de Gregoriaanse kalender genoemd, lijkt op het eerste gezicht de eenvoud zelf. Maar dit is slechts uiterlijke schijn. De meeste mensen kennen het westerse jaar als de papieren of digitale jaarkalender of agenda. Men is vaak in de veronderstelling dat ons huidige westerse jaar bestaat uit drie jaren van ieder 365 standaarddagen met ieder vierde jaar een ingevoegde schrikkeldag en daarmee een jaar van 366 dagen. Tezamen vormen ze een 4 jaren cyclus met in totaal 1461 dagen van 24 uren. De toevoeging van een schrikkeldag aan een standaardjaar van 365 dagen gebeurt volgens een aantal eerder (zie 8.10) genoemde vastgelegde regels. Maar dit moet echter volgens diezelfde regels wel drie keer worden overgeslagen.

9.2 Verschillen in duur van het jaar

Vastgesteld is dat het zonnejaar de maat van tijd was, is en blijft. Een onontkoombaar feit is dat een zonnejaar al heel lang 365 zonnedagen heeft, meestal verdeeld in vier seizoenen. Bij het ontwerpen van de structuur van het westers of Gregoriaanse systeem van tijdrekening is in 1582 CE bepaald dat om in de pas te blijven lopen met het zonnejaar een omlooptijd van 400 zonnejaren nodig is. Een periode van 400 zonnejaren telt in totaal 400 x 365 = 146.000 zonnedagen wat de basis is geworden voor de tijdsduur van het westerse systeem van tijdrekening (afbeelding 9.1). In hoofdstuk 4 hebben we gezien dat een gemiddeld zonnejaar gemeten in westerse standaardtijd op basis van epoche 2000.0 een duur heeft van 365,242189 dagen (zie onder 4.5).

Met de periode van 400 zonnejaren als uitgangspunt en de wens van het gebruik van dagen zonder fracties en netjes afgerond op 24 uren is berekend hoeveel van dergelijke dagen in duur ongeveer gelijk zijn aan de 400 zonnejaren. Daarbij kwam men uit op 146.097 dagen wat inhield dat het westerse standaardjaar ook 365 dagen moest zijn, dus eveneens 146.000 dagen, maar met 97 extra dagen als schrikkeldagen die evenwichtig over de 400 jaren moesten worden verdeeld. Dit werden de 97 jaren van 366 dagen die volgens eerder genoemde regels werden bepaald (zie 8.10).

De duur van een gemiddeld westers jaar in de vastgestelde omloop van 400 zonnejaren komt daarmee uit op 146.097 ÷ 400 = 365,2425 westerse standaarddagen. Uitgaande van een zonnejaar volgens epoche 2000.0 hebben 400 zonnejaren omgerekend naar de westerse standaardtijd dan 400 x 365,242189 = 146.096,8756 standaarddagen. Over de totale omloop is het westerse systeem van tijdrekening in duur dan 146.097 - 146.096,8756 = 0,1244 dag langer dan 400 zonnejaren. Omgerekend is dit 2 uren, 59 minuten en 8,16 seconden westerse standaardtijd. Maar door allerlei schommelingen in de natuurlijke processen wordt dit verschil in de omloop van de 400 jaren geheel of grotendeels gecompenseerd. Intrigerend is dat knappe koppen dit allemaal in de 16e eeuw CE hadden bedacht waarna het in oktober 1582 CE werd ingevoerd als de Gregoriaanse kalender.



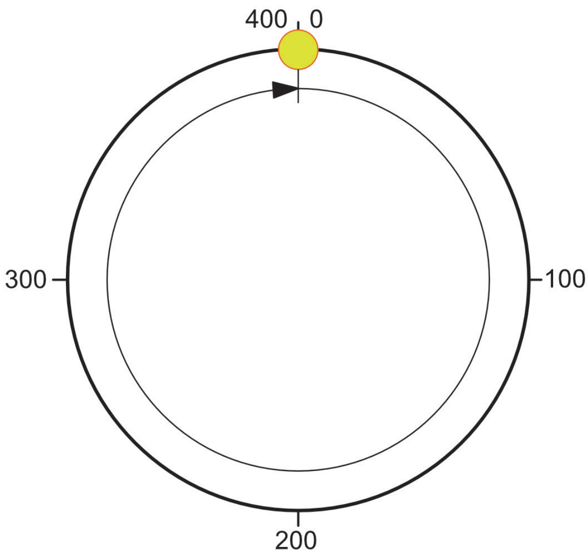
OMLOOP 400 ZONNEJAREN

een zonnejaar heeft 365 zonnedagen; 400 zonnejaren hebben 400 x 365 = 146.000 zonnedagen

omgerekend in het westerse systeem van tijdrekening heeft een gemiddeld zonnejaar volgens epoche 2000.0 een duur van 365,242189 standaarddagen; over 400 jaren is de duur 400 x 365,242189 = 146.096,8756 westerse standaarddagen

de duur van 1 gemiddelde zonnedag is 146.096,8756 ÷ 146.000 = 1,00066335315 westerse standaarddag (= 24 uren + 57,3291 sec.)

Afbeelding 9.1 - duur van de omloop van 400 zonnejaren in westerse standaardtijd.



OMLOOP 400 WESTERSE JAREN

een gemiddeld westers standaardjaar heeft 365 westerse standaarddagen van 24 uren; er wordt in 400 jaar 97x een schrikkeldag ingevoegd

de totale duur over 400 jaren is 400 x 365 + 97 = 146.097 westerse standaarddagen van exact 24 uren

de duur van 1 gemiddelde dag is 146.097 ÷ 146.097 = 1 gemiddelde westerse standaarddag van exact 24 uren

Afbeelding 9.2 - duur van de omloop van 400 westerse jaren in westerse standaardtijd.

9.3 Verschillen in duur van de dag

In de omloop van 400 zonnejaren hebben alle 146.097 westerse standaarddagen altijd een duur van precies 24 uren (afbeelding 9.2). In hoofdstuk 4 hebben we gezien dat een gemiddeld zonnejaar op basis van epoche 2000.0 omgerekend in westerse standaardtijd een duur heeft van gemiddeld 365,242189 dagen. Dus 400 zonnejaren hebben omgerekend in westerse standaardtijd een totale gemiddelde duur van 400 x 365,242189 = 146.096,8756 standaarddagen (afbeelding 9.1).

Afgerond is dit 146.079 standaarddagen. Dit betekent dat de gemiddelde duur van een westers standaardjaar 146.097 ÷ 400 = 365,2425 standaarddagen telt. Voor dezelfde 400 jaar heeft de zon 146.000 zonnedagen nodig. Dit betekent dat een gemiddelde zonnedag een duur heeft van 146.096,8756 ÷ 146.000 = 1,00066335315 dag. Dit is omgerekend 57,3291 seconden meer dan een gemiddelde westerse standaarddag van 24 uren. Dit lijkt niet veel maar over langere perioden loopt dit aardig op.

De structuur en werking van het in 1582 CE vastgestelde westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening bewijst daarmee overtuigend dat alleen met behulp van dit westerse systeem van tijdrekening een gemiddeld jaar van 365,242189 standaarddagen volgens epoche 2000.0 kan worden samengesteld dat in duur bijna gelijk is aan een zonnejaar van 365 zonnedagen. Dit westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening bewijst omgekeerd tegelijk dat het uitsluitend kan werken met een zonnejaar van 365 zonnedagen.

9.4 Toetsen met astronomisch programma

Het bovenstaande is vooral een theoretische en rekenkundige benadering maar is met behulp van een astronomisch computerprogramma zoals SkySafari 6 Pro, eenvoudig aan de werkelijkheid te toetsen. Hiervoor heb ik een meting uitgevoerd over de periode 2000 CE - 2400 CE. Als begindatum is de zomerzonnewende van 21 juni 2000 CE gebruikt op het tijdstip van 11u: 56m: 50s AM op de locatie Caïro in Egypte (latitude 30º03'45.5" N en longitude 031º14'58.8" O). De azimut is 180º01’, de altitude 83º22’35,3” en JD 2451716,914468. De tijden en datums zijn vermeld in de westerse of Gregoriaanse standaardtijd.

Vanaf het beginpunt 21 juni 2000 CE heb ik de tijdschaal precies 400 Gregoriaanse kalenderjaren verder gezet en kwam uit op de datum 16 maart 2400 CE, tijdstip 11h: 56m: 50s PM, een azimut van 176º58’14,9” en een altitude van 58º23’18,8” met JD 2597716,914468. In JD is het verschil tussen deze twee datums precies 146.000 westerse (of Gregoriaanse) standaarddagen. Hoewel er precies 400 Gregoriaanse jaren zijn verstreken bleek uit deze meting echter wel dat de zon nog niet terug was op het boven genoemde beginpunt en tevens eindpunt van de zomerzonnewende op 21 juni 2400 CE.

Vervolgens heb ik de systeemtijd (Gregoriaans) door laten lopen tot op het moment dat de zon het punt bereikte van de zomerzonnewende van 21 juni 2400 CE op tijdstip 11u: 57m: 47s AM. De azimut is nu 180º00’ en de altitude is 83º19’32,9” in 2000 CE was dit 83º22’35,3”) met JD 2597813,915150. Het verschil in JD is nu precies 146.097 dagen en 58,9 seconden, dus gelijk aan de duur in westerse standaardtijd van de omloop van 400 Gregoriaanse kalenderjaren van 365 dagen plus de 97 schrikkeldagen. En na precies 400 gemiddelde zonnejaren van 360º is de zon weer op het beginpunt van de zomerzonnewende van 21 juni teruggekeerd. Dus ondanks dat beide soorten jaren tot verschillende systemen van tijdrekening horen en verschillende aantallen dagen hebben, zijn ze in tijdsduur vrijwel gelijk aan elkaar. Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat het verschil in aantallen dagen veroorzaakt wordt door het verschil in tijdsduur tussen een gemiddelde natuurlijke zonnedag en de duur van een gemiddelde kunstmatige westerse standaarddag. Een meestal vergeten feit.

Dankzij het gebruik van de astronomische Juliaanse dag (JD) kan snel het aantal verstreken dagen worden geteld tussen de verschillende gebeurtenissen. Het principe van de JD is het uitsluitend om 12.00 uur in de middag tellen van verstreken dagen op basis van de internationale universele tijd (UTC). Dit is de internationale standaardtijd waarop tegenwoordig het westerse systeem van tijdrekening is gebaseerd. Dus werken met de Juliaanse dag (JD) is werken met de westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening zoals uit het boven beschreven voorbeeld is gebleken.

Ook met behulp van een astronomisch computerprogramma blijkt de structuur en werking van het westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening met een gemiddelde duur van 365,2425 standaarddagen (volgens epoche 2000.0) per jaar vrijwel gelijk te zijn aan de duur van een gemiddeld zonnejaar van 365 zonnedagen met een duur van 365,242189 dagen westerse standaardtijd. Ook dit bewijst dat het westerse systeem van tijdrekening volledig is gebaseerd op een gemiddeld zonnejaar van 365 zonnedagen.

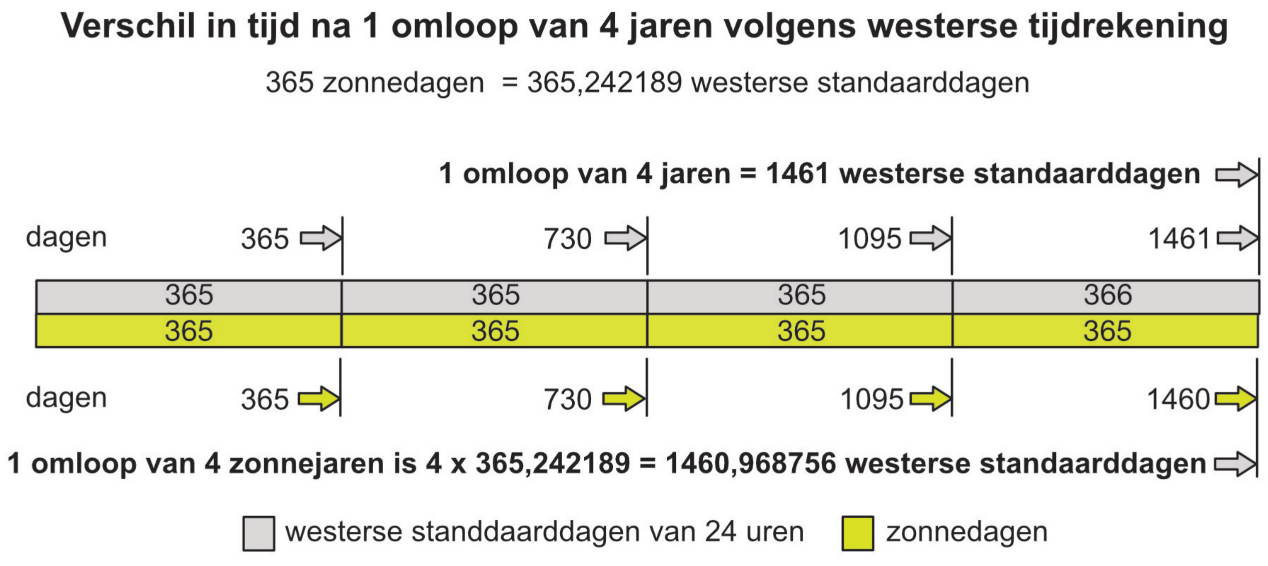
9.5 Verspringen van tijd

Hoewel de zonnedagen en daarmee de zonnejaren volgens onze aardse meetinstrumenten kleine onregelmatigheden in duur hebben, verlopen ze in de telling zeer gelijkmatig. Na 365 zonnedagen heeft de aarde een volledige omloop van 360° rond de zon volbracht en is weer op het vertrekpunt aangekomen om aan de volgende omloop te beginnen. Een perfecte ritmiek voor het tellen van dagen, zonsopkomsten of zonsondergangen.

Heel anders is dit voor ons huidige westerse systeem van tijdrekening. In principe gebruikt dit systeem ook 365 dagen per jaar. Alleen hebben deze 365 standaarddagen een duur van precies 24 uren zonder fracties, terwijl zonnedagen een licht onregelmatige duur hebben. En zoals in het voorgaande is beschreven, is daarom de gemiddelde duur van een zonnejaar ongeveer 0,242189 dag (5 uren, 48 minuten en 45,129 seconden) langer dan een westers jaar van 365 dagen van 24 uren. Dit is de reden dat in het westerse systeem 97 schrikkeldagen van 24 uren worden toegevoegd om in de tijd ongeveer gelijk te blijven lopen met de gemiddelde duur van een zonnejaar. Dit doen we in de vorm van het volgens vaste spelregels 97x invoegen van een dag.

Waar weinigen bij stilstaan is dat als gevolg van deze gekozen westerse systematiek het verloop hiervan ten opzichte van de zonnetijd zeer onregelmatig is en soms zelfs flink verspringt. In afbeelding 9.3 is de verhouding in duur te zien tussen 4 jaren zonnetijd en 4 jaren westerse standaardtijd. Deze standaardtijd is gebaseerd op de Gregoriaanse kalender die in oktober 1582 is ingevoerd. Dus in oktober 1982 is de eerste omloop van 400 jaren volbracht en begon de tweede omloop. Deze tweede omloop eindigt in oktober 2382 waarna de volgende omloop van 400 jaren weer zal beginnen.

Om het verloop van de dagen en tijd over die 400 jaren inzichtelijk te maken heb ik voor de periode willekeurige periode 2000-2400 een drietal voorbeelden uitgewerkt. Dit betreft allereerst de meest voorkomende omloop van 4 jaren waarvan 3 jaren van 365 dagen en 1 jaar van 366 dagen. Daarna is een periode van 40 jaren uitgewerkt en tot slot de gehele periode van 400 jaren.



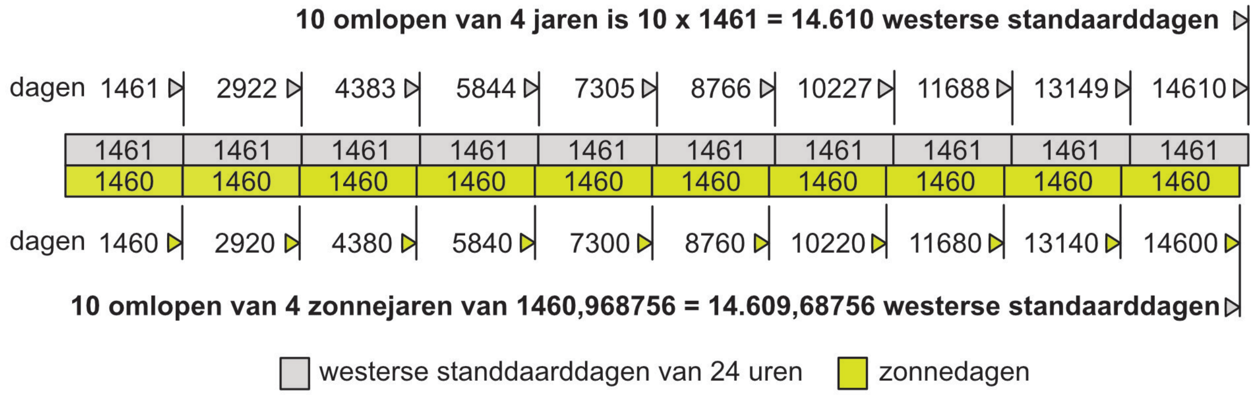
Afbeelding 9.3 - Verloop van dagen en tijd in een 'schrikkelperiode' van 4 jaren waarvan 3 standaardjaren van 365 dagen en 1 standaardjaar van 365 + 1 schrikkeldag, dus 366 dagen.

In afbeelding 9.3 is een periode van 4 jaren weergegeven waarin 1 schrikkeldag wordt ingevoegd. Deze 'schrikkelperiode' van 4 jaren met 1461 westerse standaarddagen komt in de totale omloop van 400 jaren altijd 97 keer voor. Iedere keer dat deze 'schrikkelperiode' plaatsvindt heeft het aantal westerse standaarddagen 1 dag meer dan het aantal zonnedagen.

Maar wanneer de zonnedagen worden omgerekend naar westerse standaardtijd is het verschil veel kleiner namelijk 1461 - 1460,968756 = 0,031244 dag (44 minuten en 59,48 seconden).

Wanneer 10 van deze ‘schrikkelperioden’ van 4 jaren achter elkaar worden gezet, zoals uitgebeeld in afbeelding 9.4, dan wordt het verschil in dagen groter (10 dagen), terwijl het verschil in tijd relatief beperkt blijft (zie hieronder).

Verschil in dagen na 10 omlopen van 4 jaren volgens westerse tijdrekening over de periode 2000 - 2040 met 10 schrikkeldagen



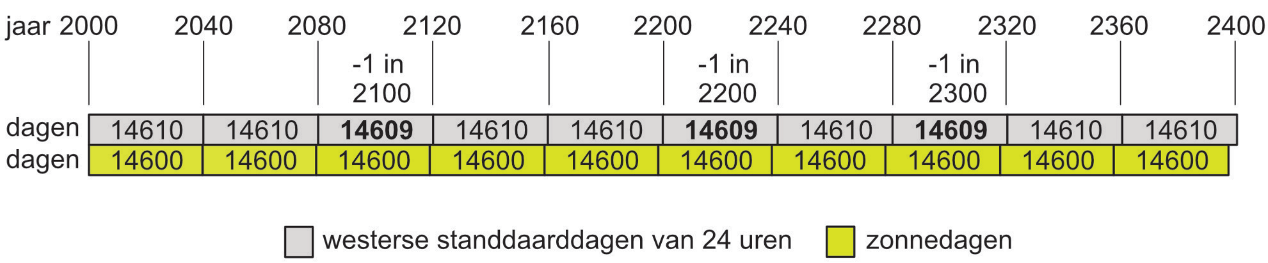
Afbeelding 9.4 - Verloop van dagen in 10 omlopen van een ‘schrikkelperiode’ van 1461 dagen.

Afbeelding 9.4 laat zien dat na 10 omlopen van de ‘schrikkelperiode’ van 1461 dagen het totale aantal westerse standaarddagen 14.610 is terwijl het totale aantal zonnedagen 14.600 is. Er is na 40 jaren een verschil ontstaan van 10 dagen, de 10 x 1 schrikkeldag in de 10 perioden van 4 jaren.

Maar wanneer de beide verschillende tijdsystemen worden berekend volgens onze westerse standaard kloktijd dan blijkt het verschil weer relatief klein te zijn. Dit verschil is nu 14.610 - 14.609,68756 = 0,31244 dag (7 uren, 29 minuten en 54,816 seconden). Het verschil in dagen zegt dus niets over het verschil in onze huidige westerse standaardtijd.

Zoals eerder vermeld wordt in de volledige omloop van 400 jaren van de Gregoriaanse kalender in totaal 3 keer het invoegen van een schrikkeldag overgeslagen. Over de periode 2000-2400 betreft dit de eeuwjaren 2100, 2200 en 2300. Dit is weergegeven in afbeelding 9.5.

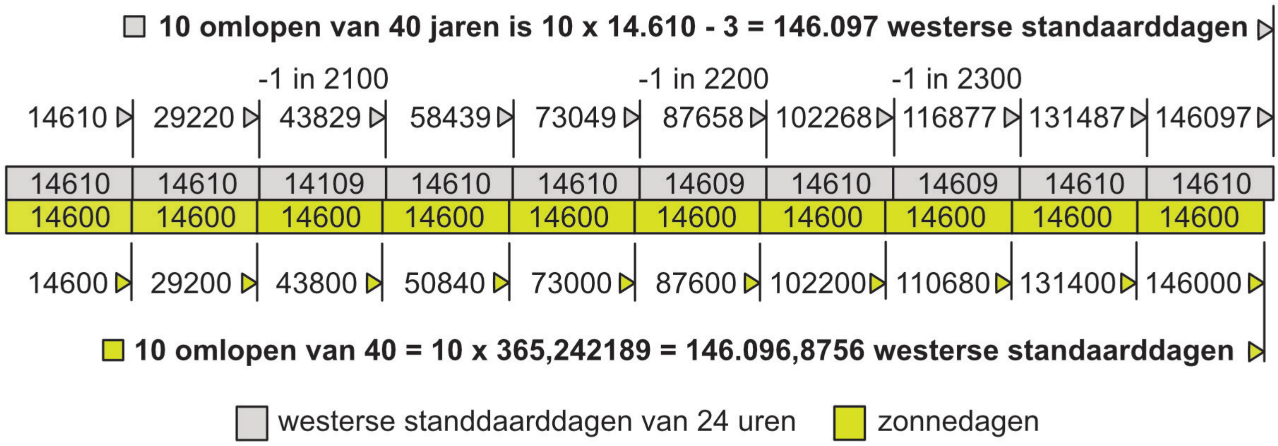
Verdeling van 10 omlopen van 40 jaren over de periode 2000 - 2400 CE waarin 3 schrikkeldagen worden overgeslagen in de eeuwjaren 2100, 2200 en 2300



Afbeelding 9.5 - Verdeling van 10 omlopen van 40 jaren over de totale omloop van 400 jaren volgens de Gregoriaanse kalender waarbij 3 schrikkeldagen worden overgeslagen.

In de totale periode van 400 jaren bestaan de 10 omlopen van 40 jaren in 7 gevallen uit 14.610 dagen en in 3 gevallen (de 3 overgeslagen schrikkeldagen) uit 14.609 dagen. In afbeelding 9.6 is weergegeven wat de gevolgen hiervan zijn voor het totale aantal dagen en de totale tijdsduur.

Verschil in dagen na 10 omlopen van 40 jaren volgens de westerse tijdrekening over de periode 2000-2400 CE waarin 3 schrikkeldagen in de eeuwjaren 2100, 2200 en 2300 worden overgeslagen



Afbeelding 9.6 - Verloop van dagen en tijd in de totale omloop van de 400 jaren Gregoriaanse kalender na het invoegen van 97 keer een schrikkeldag in de Gregoriaanse kalender.

Het resultaat na 400 Gregoriaanse kalenderjaren is dat in totaal 146.097 gemiddelde westerse standaarddagen tegenover 146.000 gemiddelde zonnedagen zijn verstreken. Dit is het bekende verschil van de 97 schrikkeldagen die nodig zijn om in westerse standaardtijd ongeveer gelijk te blijven lopen met de 400 zonnejaren. In standaardtijd is het verschil namelijk 146.097 - 146.096,8756 = 0,1244 dag (2 uren, 59 minuten en 8,16 seconden). Uit de drie besproken voorbeelden van het verloop van dagen en standaardtijd blijkt dus dat het verschil in dagen steeds blijft toenemen terwijl het verschil in standaardtijd tussen de westerse standaardjaren en de zonnejaren verspringt van 0,031244 naar 0,31244 en vervolgens aan het einde naar 0,1244 dag. Wij merken overigens helemaal niets van dit verspringen van onze standaardtijd omdat deze dankzij onze kunstmatige uurwerken altijd perfect gelijkmatig blijft verlopen.

Over de periode van 400 jaar heeft het gemiddelde westerse standaardjaar een duur van 146.097 ÷ 400 = 365,2425 standaarddagen van precies 24 uren en heeft het zonnejaar 365 gemiddelde zonnedagen van 24 uren en ± 57 seconden. En alweer wordt duidelijk dat zonder kennis van de systematiek van dit westerse systeem van tijdrekening en alleen op basis van observaties van de zon nooit een zonnejaar met een duur van van 365,25 dagen kan zijn berekend. Daarvoor is kennis van een dag van precies 24 uren en een gelijkmatig lopend uurwerk vereist en die kennis en dat uurwerk hadden ze in de oudheid beslist niet.

Het is overduidelijk dat een zonnejaar van 365,25 of 365,2425 of 365,242189 dagen uitsluitend kan worden berekend door het gebruik van het westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening. Een systeem dat pas in de 16e eeuw CE tot stand kwam en wat de oude Grieken daarom nooit konden hebben gebruikt. De conclusie kan daarom niet anders zijn dat de door de Grieken vermeldde duur van een zonnejaar alleen maar uit rekenkundige vergelijkingen tussen zon, maan en zodiak kan zijn verkregen of uit de door Geminos en Ptolemy oneigenlijk berekende duur met behulp van de 19 of 76 jaren cyclus. Ditzelfde geldt overigens ook voor de in de ‘Alfonsine Tables’ genoemde duur van een zonnejaar die is gebaseerd op de relatie tussen zon en vaste sterren (siderische zonnejaar).

9.6 Rekenkundige duur zonnejaar

Normaal gesproken zou de duur van een zonnejaar in tijd bepaald moeten worden door metingen en tellingen. Dit is wat wij vandaag de dag verwachten. Maar het blijft merkwaardig dat op enig moment ergens tussen de 4e eeuw BCE en 44 BCE met de invoering van de Juliaanse kalender, de duur van een zonnejaar van 365,25 ontstond.

Eerder is al vermeld dat er verschillende aanwijzingen zijn dat de duur verkregen is door metingen aan de sterren ten opzichte van de zon en maan en niet door rechtstreekse observaties en metingen van het zonnejaar. Bovendien wist men toen nog niet dat er een verschil in duur bestaat tussen het zonnejaar en het sterrenjaar. Bovendien beschikte men in die tijd niet over erg nauwkeurige meetinstrumenten.

Ook het door Ptolemaeus III Euergetes in 238 BCE uitgevaardigde decreet van Canopus kan een rol hebben gespeeld. Dit decreet was echter gebaseerd op de heliacale opkomst van de heilige ster Sirius die niet meer in de pas liep met de Egyptische nieuwjaarsdag. Dus schreef dit decreet voor dat ieder vierde jaar een extra dag moest worden toegevoegd waardoor het gemiddelde jaar 365,25 dagen werd. Dit werd in de praktijk gebracht met behulp van de Juliaanse kalender die vanaf 45 BCE in werking trad en later, na enige aanpassingen door keizer Augustus in 25 BCE en paus Gregorius XIII in 1582 CE, de wereld zou veroveren.

De meest voor de hand liggende mogelijkheid is dat de door Geminos en Ptolemy genoemde 365 1/4 en 365 5/19 dagen gewoon op basis van de 19 en 76 jaren cycli zijn berekend. Het is overigens wel een toevalstreffer dat ze er ten opzichte van de westerse tijdrekening niet eens ver naast zaten. Maar deze berekende duur werd echter door latere auteurs wel zonder meer overgenomen en ging een eigen leven leiden om uiteindelijk de basis te worden voor de Juliaanse kalender, gevolgd door de westerse of Gregoriaanse kalender. En het is de Gregoriaanse kalender met het onderliggende systeem van tijdrekening zelf dat hiervoor het bewijs levert.

Een tweede mogelijkheid is dat uitgaande van een gelijke tijdsduur van de dagen, ergens de tijdsduur van een dag of meerdere dagen in een bepaalde periode van het zonnejaar is gekozen waarop de zonnedag iets langer was dan een gemiddelde zonnedag. Wanneer dit verschil wordt toegepast bij 365 zonnedagen zal dit dus 365x optreden waardoor het teveel kan oplopen tot ongeveer een kwart dag in een zonnejaar.

9.7 Het cruciale moment

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat er ergens in de geschiedenis een moment moet zijn geweest waarop onbewust de duur van de zonnedag werd veranderd. Ik wil de nadruk leggen op onbewust omdat in de periode waarin dit moet zijn gebeurd men totaal geen kennis had van minuten of seconden. Alle tot zover naar voren gebrachte historische feiten wijzen overduidelijk in de richting van berekeningen van het zogenoemde sterren-zonnejaar, dus een meting tussen de zon op een bepaalde meridiaan overdag en een ster of sterrengroep ten opzichte van diezelfde meridiaan in de avond of nacht. Wij zouden dit nu het sterrenjaar noemen. Aan de hand van deze metingen is vervolgens het aantal dagen bepaald, niet wetende dat een sterrenjaar een andere tijdsduur heeft dan een zonnejaar. Dus het aantal zonnedagen van 365,25 in een zonnejaar is en kan nooit zijn verkregen door directe observatie maar door een onjuiste rekensom.

10 Conclusies stellingen

Uit het voorgaande blijkt zeer duidelijk dat de aan het begin van hoofdstuk 2 genoemde stellingen het resultaat zijn van een aaneenschakeling van verkeerde interpretaties en halve waarheden die misleidend blijken te werken. Het is vrijwel zeker dat de oorsprong hiervan al dateert uit de 4e eeuw BCE. Het gevolg is dat de betreffende stellingen in de loop der tijd zo vanzelfsprekend zijn geworden dat niemand meer de moeite heeft genomen deze op juistheid te controleren. Voor deze twee stellingen kunnen op basis van het in het voorgaande beschreven feitenonderzoek de volgende conclusies worden getrokken.

10.1 De eerste stelling

De eerste stelling betreffende de duur van een zonnejaar was:

een zonnejaar heeft 365,242189 (of 365,25 of 365,2425) dagen

Deze stelling mag zich verheugen in een ontstaansgeschiedenis van meer dan 2100 jaar waarvan het zaad onbewust werd gezaaid in de 1e eeuw BCE door de Griekse astronoom Geminos en zijn interpretatie van de 19 jaren cyclus van Meton. Vervolgens heeft Ptolemy er in de 2e eeuw CE een eigen draai aan gegeven waardoor het zaadje ontkiemde en inmiddels stevig is geworteld. Daarna is dit ontkiemde zaadje in de 16e eeuw CE in een grote pot geplant en uitgegroeid tot de basis van de Gregoriaanse kalender waar we nu nog steeds mee werken. In het voorgaande zijn verschillende feiten en argumenten aangevoerd die aantonen dat het hier zeer waarschijnlijk gaat om ofwel een oneigenlijke berekening die een eigen leven is gaan leiden en in deze vorm zelfs misleidend is gaan werken zoals in de literatuur is gebleken, ofwel om het gebruik van de meting en berekening van een siderisch of zodiakaal zonnejaar dat veel lijkt op het bekende sterrenjaar.

Ontstaan in een tijd waarin alleen sterrenklokken, schaduwklokken, waterklokken en zonnewijzers bestonden die niet erg nauwkeurig waren. In de periode van Meton was zelfs het verschil tussen een zonnejaar en een sterrenjaar niet bekend. Daar komt nog bij dat de weinige metingen die zijn overgeleverd voornamelijk als doel hadden een goed werkende maankalender samen te stellen. Er zijn vele aanwijzingen voorhanden die er op wijzen dat veel van de metingen in de avond en de nacht werden uitgevoerd en bepaalde vaste sterren uit de zodiak werden gebruikt om een jaar te meten. Metingen geënt op de relatie tussen zon en en sterren in de zodiak (zodiakale zonnejaar).

Maar het zwaarst wegende argument tegen deze eerste stelling is het systeem van de huidige westerse tijdrekening zelf, de westerse of Gregoriaanse kalender. De drie basisprincipes van dit systeem zijn het in de pas blijven lopen met de seizoenen van het natuurlijke zonnejaar, een structuur en werking die volledig is gebaseerd op een periode van 400 jaar en het gebruik van kunstmatige standaarddagen van precies 24 uren. De structuur en werking van dit westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening is volledig gebouwd op het zonnejaar en kan ook alleen maar bestaan bij de gratie van het zonnejaar van precies 365 zonnedagen.

Feit 1
In de tijd van de oude Egyptenaren, Babyloniërs en Grieken, tussen 2500 en 200 BCE, werd de tijdsduur van een zonnejaar bepaald door directe observaties en metingen van de zon zelf. Daarvoor werden bijvoorbeeld schaduw-stokken (gnomon), zonnewijzers en water-klokken gebruikt. Maar welk instrument men ook gebruikte, het was in die tijd onmogelijk om een tijdsduur van een zonnejaar van 365,25 dagen te berekenen. Een zonnejaar had en heeft in de omloop van de aarde rond de zon van 360° altijd 365 zonnedagen. Om door directe metingen overdag een tijdsduur van 365,25 (of 365,2422, of 365,2425) te kunnen berekenen zijn 3 factoren onontbeerlijk: een referentiedag van 24 uren, een gelijkmatig lopend uurwerk en een Gregoriaans systeem van tijdrekening.

Zonder deze 3 factoren is het volledig uitgesloten dat de tijdsduur ooit anders zou kunnen zijn dan 365 zonnedagen. Maar deze 3 factoren waren in die tijd volledig onbekend omdat ze nog moesten worden uitgevonden.

Feit 2
Naast directe metingen en observaties van de zon zoals in feit 1 vermeld, werden ook metingen uitgevoerd met behulp van vaste sterren en sterrengroepen in de zodiak. Maar tot aan 200 BCE waren sterrenjaar en precessie totaal onbekend. Het bepalen van de tijdsduur van een zonnejaar via observaties en metingen van sterren en sterrengroepen leverde dan ook steeds een tijdsduur in relatie tor een sterrenjaar op waarbij een sterrenjaar een andere tijdsduur heeft dan een zonnejaar.

Feit 3
Om met de natuurlijke seizoenen in de pas te blijven lopen heeft onze huidige westerse of Gregoriaanse kalender en tijdrekening een omlooptijd van 400 jaren. Een standaard westers jaar heeft 365 dagen van 24 uren waaraan tijdens de omloop van 400 jaren volgens vaste regels in 97 jaren een schrikkeldag moet worden toegevoegd. In die 400 jaar heeft de westerse kalender en tijdrekening daarom 400 x 365 + 97 = 146.097 dagen van ieder 24 uren. Een gemiddeld westers standaardjaar heeft daarom een tijdsduur van 146.097÷ 400 = 365,2425 dagen.

Feit 4
In dezelfde omloop van 400 jaar verstrijken ook 400 zonnejaren. Een natuurlijk zonnejaar heeft 365 zonnedagen van ongelijke duur. Zonnejaren hebben geen schrikkeldagen. De 400 zonnejaren hebben daarom tezamen 400 x 365 = 146.000 zonnedagen.

Feit 5
Aan het einde van de omloop van 400 jaren hebben de 400 westerse of Gregoriaanse jaren met 146.097 dagen van 24 uren vrijwel dezelfde tijd afgelegd als de 400 zonnejaren met 146.000 zonnedagen. Dus onze westerse of Gregoriaanse kalender en tijdrekening heeft 97 dagen van 24 uren meer nodig om na 400 jaren op ongeveer hetzelfde punt in de tijd uit te komen.

Feit 6
Pas na de uitvinding van de pendule of het slingeruurwerk in de 17e eeuw konden eenheden van tijd, zoals dagen en uren, ontstaan van steeds dezelfde gemiddelde duur. Voorafgaand aan deze uitvinding bestonden er geen instrumenten die eenheden van tijd van steeds dezelfde gemiddelde duur konden meten.

Feit 7
Er bestaat geen enkel ander systeem van tijdrekening waarmee een dergelijke duur van een zonnejaar is te berekenen. Bovendien dateren twee van de voor de wereld unieke basisprincipes van de westerse tijdrekening uit het Europa van de 16e en 17e eeuw CE en kunnen dus onmogelijk meer dan 2500 jaar daarvoor bekend zijn geweest in het Midden-Oosten of Midden-Amerika.

Er is tot op heden nergens ook maar een snippertje bewijs gepresenteerd dat onomstotelijk aantoont dat de oude Griekse astronomen met een dag konden rekenen die vergelijkbaar was met onze 24 uren van 60 minuten en iedere minuut bestaande uit 60 seconden. Want zoals uit de feiten blijkt, kan alleen met deze westerse tijdrekening een zonnejaar worden berekend van 365,242189 dagen. Dus kan het niet anders dan dat deze oude Grieken het met de natuurlijke zonnedag moesten doen wat ook op vele manieren in de oude literatuur wordt bevestigd. Er was nu eenmaal niets anders. Dus konden de oude Grieken ook nooit de duur van een zonnejaar berekend hebben volgens de systematiek van de westerse standaarddagen die pas 2000 jaar later, in de 16e eeuw CE in de vorm van de Gregoriaanse kalender, werd uitgevonden. Het ligt daarom zeer voor de hand dat de verschillende genoemde oude metingen gebaseerd waren op waarnemingen van de zodiak en sterrenhemel en niet van directe observaties van de zon.

Het is niet het zonnejaar dat 365,25 of 365,2425 of 365,2422 dagen heeft, het is het westerse of Gregoriaanse kalenderjaar dat een gemiddelde van 365,25 of 365,2425 of 365,2422 standaard dagen nodig heeft om gelijk te blijven lopen met de seizoenen van het natuurlijke zonnejaar.

Het is tenslotte de westerse of Gregoriaanse tijdrekening zelf die zonder woorden enerzijds zegt dat een zonnejaar 365 zonnedagen telt en anderzijds glashelder aangeeft dat de systematiek van de Gregoriaanse kalender noodzakelijk is om een jaar van 365,2425 of 365,25 dagen te kunnen berekenen. Hoe zouden de Ouden zonder deze kennis en systematiek een dergelijk jaar hebben kunnen berekenen anders dan bijvoorbeeld via het in hun tijd gebruikte siderische zonnejaar (ook wel zodiakale zonnejaar genoemd) of de eerder besproken oneigenlijke methodiek van Geminos en Ptolemy via de 19- en 76-jaren cycli.

De stelling zou daarom moeten zijn:

een zonnejaar van 365 zonnedagen heeft op basis van epoche 2000.0 een duur gelijk aan 365,242189 gemiddelde westerse standaarddagen van 24 uren per dag

Toepassing in de chronologie
Het verdient de voorkeur om in de chronologie het westerse of Gregoriaanse systeem van tijdrekening toe te passen omdat dit vrijwel gelijk loopt met het zonnejaar (Otto Neugebauer 1983: 171). Maar dan wel met de goede voor de onderzochte periode geldende epoche-duur van het zonnejaar. Het is natuurlijk niet juist om voor bijvoorbeeld de periode 3000-2900 BCE een epoche te gebruiken van het jaar 2000 CE zoals helaas soms in de literatuur wordt vermeld. Zeer merkwaardig is dat vaak ook het Juliaanse jaar van 365,25 dagen wordt toegepast dat pas kort voor het begin van onze huidige jaartelling in het leven werd geroepen en waarvan bekend is dat het nou niet bepaald erg synchroon liep met het zonnejaar.

10.2 De tweede stelling

De tweede stelling die regelmatig in de literatuur wordt vermeld betreft het verschuiven van de lente-equinox en het lentepunt en luidt:

de lente-equinox en het lentepunt verschuiven als gevolg van precessie

De Ouden waren er rotsvast van overtuigd dat de seizoenpunten, als keerpunten van de zon ten opzichte van de aarde en als beginpunten van de seizoenen, een zeer vast patroon hadden. Het is in de relatie tussen zon en aarde onmogelijk dat één seizoenpunt, de lente-equinox en het hiermee onlosmakelijk verbonden lentepunt, zich zouden verplaatsen als gevolg van precessie, terwijl de andere seizoenpunten kennelijk op hun plaats blijven want die worden vreemd genoeg nooit genoemd.

Feit 1
Een equinox is geen natuurlijk fenomeen maar een door de mens bedacht verschijnsel van een moment in de tijd als gevolg van de natuurlijke bewegingen van de aarde zelf en haar baan om de zon. Het is feitelijk het moment waarop de aardas noch naar de zon toe, noch van de zon af wijst waardoor de dagen en nachten overal even lang zijn en duurt een volledige dag. Een equinox is dan ook strikt gebonden aan de relatie tussen zon en aarde en heeft geen enkele relatie met sterren, sterrengroepen of sterrenhemel.

Feit 2
De lente- en herfstequinox behoren tot de vier seizoenpunten die onlosmakelijk met elkaar en met de omloop van de aarde rond de zon zijn verbonden. Wanneer één van deze seizoenpunten zou verschuiven dan zouden volgens de geldende wetmatigheden en logica ook de andere drie seizoenpunten moeten verschuiven. En dat is voor zover mij bekend nog nooit gebeurd.

Feit 3
Precessie wordt veroorzaakt door de schuine stand van de aardas die een tolbeweging maakt. De hypothetische uiteinden van deze aardas wijzen naar de sterrenhemel. Door deze tolbeweging lijkt de sterrenhemel langzaam te draaien. Momenteel wijst het noordelijke hypothetische hemelpunt in het verlengde van de aardas naar de poolster Polaris. Deze aardse tolbeweging heeft een omloop van ongeveer 25.678 jaren.

Berekend is dat in het jaar 4145 CE de ster gamma Cephei de poolster zal zijn. Om de snelheid van deze precessie te meten wordt het hypothetische snijpunt van ecliptica, hemelequator en noord-zuid-as (meridiaan) gebruikt dat lentepunt (noordelijk halfrond) of herfstpunt (zuidelijk halfrond) wordt genoemd, een zeer kort moment tijdens de dag van de equinox. Met behulp van dit punt wordt de verschuiving van de aardas ten opzichte van de sterrenhemel gemeten en uitgedrukt in een sterrenjaar.

Vermoedelijk is deze stelling ontstaan in de oudheid tijdens de vele nachtelijke waarnemingen aan de maan en de sterren. In die tijd kende men geen verschil tussen een sterrenjaar en een zonnejaar maar was men wel voortdurend bezig met het zo goed als mogelijk was afstemmen van de maankalenders op de duur van het zonnejaar. Omdat de zon ‘s nachts niet te zien is, is een verband gelegd tussen de positie van een bepaalde dag in de omloop van de zon overdag (zie onder 5.10) en van de maan ten opzichte van de sterren-zodiak in de nacht. Vervolgens werd een vaste ster uitgelijnd op de maan en de afstand tussen beiden gemeten.

En na vele nachtelijke waarnemingen, van generatie op generatie, kon het niet anders dan dat de Ouden uiteindelijk door hadden dat de afstand tussen een favoriete ster en het vaste seizoenpunt veranderde. Omdat de Ouden in de veronderstelling waren dat de sterren onbeweeglijk waren, leek het voor hen of het betreffende seizoenpunt verschoof.

Maar metingen over lange perioden met een astronomisch programma zoals SkySafari 6 Pro, laten al snel zien dat de lente-equinox met het onlosmakelijk hiermee verbonden lentepunt voor de waarnemer op aarde gewoon op dezelfde plaats blijft en op hetzelfde moment in een jaar optreedt (zie afbeeldingen 6.5-6.9). Want de lente-equinox en het lentepunt zijn geen tastbare of natuurlijke fenomenen maar door de mens bedachte bruikbare momenten in de tijd van de cycli van zon en aarde. Bovendien worden seizoenpunten gewoonlijk overdag gemeten met als voorwaarde dat de zon schijnt. Geen ster of sterrenhemel heeft hier invloed op. Het door de mens visueel waarnemen van het veranderen van de plaats van de sterren aan de sterrenhemel is dus een door de tolbeweging van de aardas veroorzaakt optisch verschijnsel (zie hoofdstuk 7).

De mens op aarde draait vanzelfsprekend gewoon mee met de tolbeweging en merkt daar helemaal niets van. Maar door de tolbeweging van de aardas ten opzichte van de vaste sterrenhemel verandert voortdurend de kijkhoek van de mens op aarde en lijkt het of de sterren en sterrengroepen zich verplaatsen. De aarde heeft voor deze volledige tolbeweging van 360º als langdurig gemiddelde 25.678 aardse standaardjaren nodig waarna de sterrenhemel er voor ons op aarde weer precies zo uit ziet als toen ze begon aan deze tolbeweging. Het gaat in bovengenoemde stelling dus om het verschuiven van de aardas ten opzichte van de sterren of sterrengroepen. Een volledig natuurlijk proces. Als hypothetisch vast aards meetpunt voor deze tolbeweging is dat ene het korte moment van het lentepunt tijdens de dag van de lente-equinox gekozen.

De richting waarin dit verschuiven van de aardas ten opzichte van de sterrenhemel plaatsvindt is afhankelijk van de kijkrichting. Wanneer de waarnemer in zuidelijke richting kijkt zal de verschuiving naar links, dus naar het oosten, zijn. Kijkend in noordelijke richting is de verschuiving naar rechts, dus naar het westen.

De stelling zou daarom moeten zijn:

als gevolg van precessie verschuift de aardas iedere 71,327 westerse standaardjaren met 1º ten opzichte van de vaste sterren en sterrengroepen

Literatuur

Aarts, Jan
2015 Christiaan Huygens: Het Slingeruurwerk. Een studie. Epsilon Uitgaven. Amsterdam

Aslaksen, Helmer
2010 The Mathematics of the Chinese Calendar. Department of Mathematics, National University of Singapore. Singapore.

Aveni, Anthony F.
1980 Skywatchers of ancient Mexico. University of Texas Press, Austin, Texas.

Belenkiy, Ari & Eduardo Vila Echagüe
2016 Groping toward linear regression analysis: Newton's analysis of Hipparchus' equinox observations. The Observatory, Vol. 136, No. 1250, pp. 1-21.

Belmonte, Juan Antonio et.al
2015 Ancient Astronomy: India, Egypt, China, Maya, Inca, Aztec, Greece, Rome, Genesis, Hebrews, Christianms and Paleolithic. Kindle edition.

Ben-Dov, Jonathan, Wayne Horowitz and John M. Steele
2012 Living the Lunar Calendar. Oxford Books, Oxford, UK. eBook Kindle Edition.

Ben-Dov, Jonathan and Lutz Doering
2017 The Construction of Time in Antiquity. Ritual, Art, and Identity. Cambridge University Press. eBook Kindle Edition.

Bennett, Chris
2003 The Early Augustan Calendars in Rome and Egypt. Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik. Bd. 143, pp. 221-240.

Bond, Alan & Mark Hempsell
2008 A Sumerian Observation of the Köfels' Impact Event. Alcuin Academics. eBook Kindle Edition.

Borchardt, Ludwig
1920 Die Altägyptische Zeitmessung. Band I, Lieferung B. In Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren. Verenigung Wissenschaftlicher Verleger. Walter de Gruyter & Co. F. Bruckmann A.G., München.

Borst, Arno
1993 The ordering of time: from the ancient computus to the modern computer. The University of Chicago Press, Chicago.

Bowen, Alan C. And Bernard R. Goldstein
1989 Meton of Athens and Astronomy in the Late Fifth Century B.C. Published in A Scientific Humanist: Studies in Honor of Abraham Sachs. The University Museum. Philadelphia.
1991 Hipparchus' Treatment of Early Greek Astronomy: The Case of Eudoxus and the Length of Daytime. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 135, No. 2, pp. 233-254. American Philosophical Society.

Brack-Bernsen, Lis and Hermann Hunger
1999 The Babylonian Zodiac: Speculations on iets invention and significance. Centaurus Vol. 41: pp. 280-292.

Brack-Bernsen, Lis and John M. Steele
2004 Babylonian Mathemagics: Two Mathematical astronomical-astrological Texts. In: Studies in the History of the Exact Sciences in Honour of David Pingree, pp. 95-125, David Pingree and Charles Burnett. Brill, Leiden.

Brechner, Kenneth and Michael Feirtag
1981 Astronomy of the Ancients. Second Edition. The Massachusetts Institute of Technology. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, and Londen, England.

Bridges, John Henry and H. Gordon Jones
1914 The Life & Work of Roger Bacon. An introduction to The Opus Majus. Williams & Norgate, London.

Britten, John P.
1992 Models and Precision: The Quality of Ptolemy's Observations and Parameters. Institute for Research in Classical Philosophy and Science. Garland Publishing Inc., New York.
2007 Calendars and Years, astronomy and Time in the Ancient Near East. In Calendars, Intercalations and Year Lenghts in Mesopotamian Astronomy, by John M. Steel, Oxbow Books, Oxford, UK. eBook Kindle Edition.

Bruce, Ian
2007 Christian Huygens' Horologium Oscillatorium; Part One. Translated and annotated. Website: http://www.17centurymaths.com/contents/huygens/horologiumpart1.pdf

Cohn, Marc
2007 The mathematics of the Calendar. eBook Apple Store.

Conman, Joanne
2003 It's about Time: Ancient Egyptian Cosmology. Studien zur Altägyptischen Kultur, Bd. 31, pp. 33-71. Published by Helmut Buske Verlag GmbH.

Canhâo, Telo Ferreira
2013 A Timeless Legacy: The Calendars of Ancient Egypt, pp. 281-299. In Rogéria Sousa et al., Alexandrea ad Aegyptum: The Legacy of multiculturalisme in Antiquity. CITCEM (Centro de Investigação Transdisciplinar «Cultura, Espaço e Memória»).

Chopra, Rajesh Kumar
2018 The History, Science and Mathematics of Indian (Hindu) and Other Calendars. eBook Kindle Edition.

Cullen, Christopher
2017 The Foundations of Celestial Reckoning. Three Ancient Chinese Astronomical Systems. Routledge, Londen and New York.

Danjon, André
1959 Astronomie générale: Astronomie sphérique et éléments de mécanique céleste. Verlag: J. et R. Sennac impr. J. et R. Sennac, Paris.

Depuydt, Leo
1995 On the Consistency of the Wandering Year as Backbone of Egyptian Chronology. Journal of the American Research Center in Egypt, Vol. 32, pp. 43-58.
1997 Civil Calendar and Lunar Calendar in Ancient Egypt. Peeters Publishers & Department of Oriental Studies, Leuven. Belgium.

Dicks, D.R.
1966 Solstices, Equinoxen, & the Presocratics. The Journal of Hellenic Studies. Vol. 86, pp. 26-40. The Society for the Promotion of Hellenic Studies.

Duncan, David Ewing
1998 Calendar: humanity's epic struggle to determine a true and accurate year. Avon Books, INC. New York. USA.

Dohrn-van Rossum, Gerhard
1996 History of the hour: clocks and modern temporal orders. The University of Chicago Press, Chicago.

Englund, R.K.
1988 Administrative Timekeeping in Ancient Mesopotamia. Journal of the Economic and Social History of the Orient, Vol. 31, No. 2, pp. 121-185.

Evans, James and J. Lennart Berggren
2006 Geminos's Introduction to the Phenomena: A Translation and Study of a Hellenistic Survey of Astronomy. Princeton University Press. Princeton and Oxford. eBook Kindle edition.

Flores, C.L.
2013 The Jewish Calendar. Judaism in a Nutshell. eBook Kindle Edition.

Fotheringham, J.K.
1924 The Metonic and Callippic Cycles. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 84 Issue 5, pp. 383-392.

Gandz, Solomon
1952 The Division of the Hour in Hebrew Literature. ISIS, Vol. 10, pp. 10-34. The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society.

Gartenhaus, Solomon and Arnold Tubis
2007 The Jewish Calendar - A mix of Astronomy and Theology. Shofar, Vol. 25, No. 2, pp. 104-124 Published by Purdue University Press.

Ghezzi, Ivan and Clive Ruggles
2007 Chankillo: A 2300-Year-Old Solar Observatory in Coastal Peru. ScienceMag, Vol. 315, pp. 1239-1243.

Gingerich, Owen
2002 The Trouble with Ptolemy. Isis, Vol. 93, No.1, pp. 70-74. The University of Chicago Press on behalf of The History of science Society.

Goldstein, Bernard R. And Alan C. Bowen
1989 On Early Hellenistic Astronomy: Timocharis and the First Callippic Calendar. Published on the website Academia.edu.

González, Wenceslao Segura
2014 Tropical and seasonal year. Published on the website Academia.edu.

Green, Harold H.
2014 Cosmic order at Chocolá: implications of solar observations of the eastern horizon at Chocolá, Suchitepéquez, Guatemala. In digital book: Archaeoastronomy and the Maya. Oxford, Oxbow Books.

Hannah, Robert
2009 Time in Antiquity. Routledge. Taylor and Francis Group. New York. eBook Kindle Edition.

Hawass, Zahi and Mark Lehner
1994 The Sphinx: Who built it, and why? Archaeology, Vol. 47, No. 5, pp. 30-041.

Heath, Sir Thomas L.
1991 Greek Astronomy. Reprint 1932. Dover Publications. eBook Kindle Edition.

Hoogenraad, J.P.C. en Alexander Vermeulen
2007 Tijdvereffening: het verschil tussen zonnetijd en middelbare tijd. Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde. December 2007, jaargang 73, nummer 12, pp. 394-396

Hornung, Erik, Rolf Krauss, and David A. Warburton
2006 Ancient Egyptian Chronology. Koninklijke Brill NV, Leiden.

Horowitz, Wayne
1996 The 360 and 364 Day Year in Ancient Mesopoptamia. Journal of the Ancient Near Eastern Society 24, 35-44.

Huber, Peter J.
2017 Dating by Month-Lenghts Revisited. In Studies on the Exact Sciences in Honor of Lis Brack-Bernsen. Universität Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin. Pro Business digital printing Deutschland GmbH, Berlin.

Huber Peter J. and John M. Steele
2007 Babylonian Lunar Six Tablets. SCIAMVS 8, pp. 3-36.

Hunger, Hermann and David Pingree
1989 MUL.APIN. An Astronomical Compendium in Cuneiform. Archiv für Orientforschung. Verlag Ferdinand Berger & Söhne Gesellschaft M.B.H. Austria.

Hunger, Hermann and John Steele
2019 The Babylonian Astronomical Compendium MUL.APIN. Routledge. New York. eBook Kindle Edition.

Ideler, Ludwig
1831 Lehrbuch der chronology. Reprint 2017 by Facsimile Publisher, Delphi, India.

Ingham, M.F.
1969 The Length of the Sothic Cycle. The Journal of Egyptian Archaeology, Vol. 55, pp. 36-40. Egypt Exploration Society.

Jones, Alexander
2017 Aportable Cosmos. Revealing the Antikythera Mechanism, Scientific Wonder of the Ancient World. Oxford University Press. University of Oxford. UK.

Jong, Tije de
2006 The Heliacal Rising of Sirius in Ancient Egyptian Chronology, Handbook of Oriental Studies. Vol. 83, pp. 432-438, Brill, Leiden.

Laskar, J., Joutel, F. and Boudin, F.
1993 Orbital, precessional, and insolation quantities for the earth from -20 Myr to +10 Myr. Astronomy and Astrophysics, Vol. 270, p. 522-533.

Kolev, Rumen L.
2013 The Babylonian Astrolabe. The Calendar of Creation. The Neo-Assyrian Text Corpus Project Helsinki. Printed in the USA, distributed by Eisenbrauns, Indiana.

Krupp, E.C.
1994 Echoes of the ancient skies: the astronomy of lost civilisations. Oxford University Press.

Leitz, Andreas
2019 Astronomy in Indian Vedic Period, Sumer and Babylon. A comparative Study. Published on the website Academia.edu.

Martzloff, Jean-Claude
2016 Astronomy and Calendars – The Other Chinese Mathematics 104 BC–AD 1644. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, eBook Kindle Edition.

Meeus, Jean
1983 Astronomical tables of the sun, moon, and planets. Willmann-Bell, Inc. Richmond, Virginia.
1998 Astronomical Algorithms, second edition. Willmann-Bell, Inc. Richmond, Virginia.

Meeus, Jean and Denis Savoie
1992 The History of the tropical year. Journal of the British Astronomical Association, Vol. 102, no. 1, pp. 40-42.

Meritt, Benjamin D.
1961 The Athenian year. University of California Press. Berkeley and Los Angeles. California.

Milik, J.T.
1976 The Books of Enoch. Aramaic Fragments Qumran Cave 4. Oxford University Press. London.
NASA
2009 Five Millennium Catalog of Lunar Eclipses: –1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE). NASA/ TP–2009–214173.

Neugebauer, O
1948 Solstices and Equinoxes in Babylonian Astronomy during the Seleucid Period. Journal of Cuneiform Studies, Vol. 2, No. 3, pp. 209-222. The University of Chicago Press.
1949 The Early history of the Astrolabe. Studies in Ancient Astronomy IX. Isi, Vol. 40, No. 3, pp. 240-256.
1950 The Alleged Babylonian Discovery of the Precession of the Equinoxes. Journal of the American Oriental Society, Vol. 70, No. 1, pp. 1-8. American Oriental Society.
1962 Thâbit ben Qurra “On the Solar Year” and “On the Motion of the Eight Sphere”. Proceedings of the American Philosophical Society. Vol. 106, No. 3, pp. 264-299.
1969 The Exact Sciences in Antiquity. Second Edition 2016. Dover Publications, Inc. New York.
1981 The 'Astronomical' Chapters of the Ethiopic Book of Enoch (72 to 82). Translation and commentary. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Matematisk-fysiske Meddelelser 40 : 10. Printed in Danmark by Bianco Lunos Bogtrykkeri A-S. København.

Neugebauer, O
1983 Die Bedeutungslosigkeit der Sothisperiode für die älteste ägyptische Chronology H-9, pp. 169-195. In Astronomy and History. Selected Essays. Springer-Verlag New York.

Neugebauer, P.V.
1929 Astronomische Chronologie. Erster Band. Walter de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig.

Newton, Robert R.
1977 The Crime of Claudius Ptolemy. John Hopkins University Press. Baltimore.

Nilsson, Martin P.
1920 Primitive Time-Reckoning. A Study in the Origins and first Development of the Art of Counting Time among the Primitive and Early Culture Peoples. Reprint Forgotten Books. London. England.

North, John
2008 Cosmos: an illustrated history of astronomy and cosmology. The University of Chicago Press, Chicago/London.

Nuwer, Rachel
2020 Inside the incredible slow race to reinvent time. NewScientist, 22 August 2020.

Ossendrijver, Mathieu
2015 Babylonian Mathematical Astronomy. In: Handbook of Archaeoastronomy and Ethno-astronomy 2015, pp. 1863-1870. Springer, New York.

Pachner, Norbert
1998 Zur Erfassung der Sichbarkeitsperioden ekliptikferner Gestirne. Ägpten und Levante/Egypt And the Levant, Vol. 8, pp. 125-136. Austrian Academy of Science Press.

Pannekoek, A.
1989 A history of astronomy. Dover edition. Dover Publications, Inc. New York.

Parker, Richard A.
1950 The Calendars of Ancient Egypt. The Oriental Institute of the University of Chicago. Studies In Ancient Oriental Civilization. No. 26. The University of Chicago Press, Chicago, IIllinois.
1987 The Calendars and Chronology. In The Legacy of Egypt. Second Edition. Edited by J.R. Harris. Oxford University Press, Oxford.

Parker, Richard A, and Waldo H. Dubberstein
2007 Babylonian Chronolog, 626 B.C. - A.D. 75. Second Edition. Wipf and Stock Publishers. Eugene. Oregon.

Pedersen, Olaf
2011 A Survey of the Almagest. Sources and Studies in the History of Mathematics and Physica Sciences. Springer New York. Kindle Edition.

Pingree, David and Erica Reiner
1977 A Neo-Babylonian Report on Seasonal Hours. Archiv für Orientforschung, 25. Band, (1974/1977), pp. 50-55. Institut für Orientalistik.

Powell, Robert A.
2007 History of the Zodiac. Sophia Academic Press. San Rafael, California, US.

Ratzon, Eshbal
2016 Early Mespotamian Intercalation Schemes and the Sidereal Month. Mediterranean Archaeology and Archaeology, Vol. 16, No. 4, pp. 143-151.
2018 Jewish time: First stages of seasonal hours in Judea. Studies in History and Philosophy of Science 75, 23-33. Elsevier.

Reingold, Edward E.
2001 Calendrical calculations. The millennium ed. Cambridge University Press. United Kingdom.

Rochberg, F.
1999 Babylonian Horoscopy: The Texts and Their Relations. In: Ancient Astronomy and Celestial Divination edited by N.M. Swerdlow. Massachusetts Institute of Technology. USA.

Rohr, René R.J.
1970 Sundials: history, theory, and practice. Dover publications, Inc. New York.

Sachs, A.
1948 A Classification of the Babylonian Astronomical Tablets of the Seleucid Period. Journal of Cuneiform Studies, Vol. 2, No. 4, pp. 271-290. The University of Chicago Press on behalf of The American Schools of Oriental Research.

Samuel, Alan Edouard
1977 Greek and Roman Chronology. Handbuch der Altertumswissenschaft. Erste Abteilung, Siebenter Teil. Uitgever C.H.Beck.

Schoenmakers, Paul
2018 The Mesoamerican calendar, ... how Landa's legacy led to a scientific misconception. eBook Kindle Edition or version 2017 on Academia.edu.

Seidelman, P. Kenneth
2006 Explanatory Supplement to the astronomical Almanac. University Science Books, USA.

Steele, John M.
2012 A brief introduction to astronomy in the Middle East. eBook Kindle Edition by Saqibooks, London.
2017 Real and Constructed Time in Babylonian Astral Medicine. In: The Construction of Time in Antiquity. Ritual, Art, and Identity. Cambridge University Press. Ben-Dov and Doering. eBook Kindle Edition.
2018 The Development of the Babylonian Zodiac: some Preliminary Observations. Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 18, No. 4, pp. 97-105.

Swerdlow, Noel M.
1980 Hipparchus's Determination of the Length of the Ytopical Year and the Rate of Precession. Archive for History of Exact Sciences, Vol. 21, No. 4, pp. 291-309. Published bu Springer.
2012 A brief introduction to astronomy in the Middle East. eBook Kindle Edition by Saqibooks, London.

Taylor, Ken
2012 Celestial Geometry. Watkins Publishing. London.

Thomson, George
1943 The Greek Calendar. The Journal of Hellenic Studies, Vol. 63, pp. 52-65.

Thureau-Dangin, F.
1939 Sketch of a History of the Sexagesimal System. Osiris, Vol. 7, pp. 95-141. The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society.

Thurston, Hugh
2002 Greek Mathematical Astronomy Reconsiderd. ISIS, 2002, 93: pp. 58-69. The History of Science Society.

Toomer, G.J.
1984 Ptolemy's Almagest. Gerald Duckworth & Co. Ltd., The Old Piano Factory, London.
1996 Ptolemy and his Greek Predecessors. In Astronomy before the telescope, edited by Christopher Walker, British Museum Press.

UNESCO
2013 Chankillo Astronomical Complex. World Heritage List.

Verderame, Lorenzo
2017 The Moon and the Power of Time Reckoning in Ancient Mesopotamia. In: The Construction of Time in Antiquity. Ritual, Art, and Identity. Cambridge University Press. Ben-Dov and Doering. eBook Kindle Edition.

Vila-Echagüe, E.
2018 Hipparchus' Equinox Timings Explained. Website Academia.edu. https://independent.academia.edu/EduardoVilaEchagüe

Waerden, B.L. Van der
1953 History of the Zodiac. Archiv für Orientforschung, 16. Bd., pp. 216-230.
1984a Greek Astronomical Calendars: I. The Parapegma of Euctemon. Archive for History of Exact Sciences, Vol. 29, No. 2, pp. 115-124. Published by: Springer.
1984b Greek Astronomical Calendars: II. Callippos and his Calendar. Archive for History of Exact Sciences, Vol. 29, No. 2, pp. 101-114. Published by: Springer.

Wallis Budge, E.A.
2014 The Decrees of Memphis and Canopus: Volume III - The Decree of Canopus. Reprint of first Editiion 1906. Routledge. New York.

White, Gavin
2014 Babylonian Star-Lore. An Illustrated Gide to the Star-Lore and Constellations of Ancient Babylonia. Solar Publications. New Cross. London.

Wilson, Curtis
1972 The Inner Planets and the Keplerian Revolution. Centaurus 17, pp. 205-248.

Zangger, Eberhard, and Rita Gautschy
2019 Celestial Aspects of Hittite Religion: An Investigation of the Rock Sanctuary Yazılıkaya. Journal of Skyscape Archaeology, nr. 5.1, pp. 5-38.